



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Estimación del estado hídrico obtenido a través del potencial hídrico en cv. Verdejo: respuesta en diferentes momentos del día a la variación del régimen hídrico en la D.O. Rueda (España)

Autor/es

DANIEL MARTÍNEZ PORRO

Director/es

Zenaida Guadalupe Mínguez y Alicia Pou MIR (ICVV, Gobierno de La Rioja)

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario en Tecnología, Gestión e Innovación Vitivinícola

Departamento

AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

Curso académico

2019-20



Estimación del estado hídrico obtenido a través del potencial hídrico en cv. Verdejo: respuesta en diferentes momentos del día a la variación del régimen hídrico en la D.O. Rueda (España), de DANIEL MARTÍNEZ PORRO (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

Trabajo de Fin de Máster

**Estimación del estado hídrico
obtenido a través del potencial
hídrico en cv. Verdejo:
respuesta en diferentes
momentos del día a la variación
del régimen hídrico en la D.O.
Rueda (España)**

Autor

Daniel Martínez Porro

Tutoras: Zenaida Guadalupe Mínguez y Alicia Pou Mir

MÁSTER:

Máster en Tecnol., Gest. E Inn. Vitivinícola (761)

Escuela de Máster y Doctorado



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

AÑO ACADÉMICO: 2019/2020

A mis rayos de sol Berta y Héctor

AGRADECIMIENTOS

Gracias al **Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León** (ITACyL) por su completa disposición, facilitando todos los medios materiales y personales posibles, de tal modo que ha posibilitado las actividades que me han conducido a la redacción de este trabajo.

Gracias al director del proyecto científico, el **Dr. Jesús Yuste**, por su apoyo y ayuda, así como su accesibilidad ante cualquier consulta y sus indicaciones en multitud de cuestiones, han sido fundamentales para conseguir plasmar por escrito este documento.

Agradezco a mis tutoras **Zenaida Zenaida Guadalupe Mínguez** y **Alicia Pou Mir** su apoyo y la confianza depositada en mí desde el principio hasta el final de todo este periodo.

Gracias a todos los **compañeros del ITACyL**, que a través de su trabajo han hecho posible que el proyecto saliera adelante, Sin olvidar a todos los alumnos de prácticas que han colaborado en las actividades.

Gracias al **Grupo Yllera** y su equipo humano, por los medios proporcionados y el interés demostrado para llevar a cabo las actividades de campo del mejor modo posible.

Y finalmente, el enorme agradecimiento **a mi familia**, especialmente a Berta, mi mujer y compañera en esta aventura que es la vida, quien me ha apoyado incondicionalmente con su ánimo, tiempo y paciencia, y a mi pequeñín, mi hijo Héctor, al que le debo un montón de horas de juego.

ÍNDICE

1	RESUMEN / ABSTRACT	1
2	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
2.1	La variedad Verdejo	4
2.2	Marco actual de la variedad Verdejo	6
2.3	Problemática de estudio	6
2.4	Financiación del proyecto.....	7
2.5	Estado actual del problema	8
3	OBJETIVO	12
4	CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	13
4.1	Periodo de estudio	13
4.2	Ámbito geográfico.....	13
4.3	Características del viñedo	14
4.4	Operaciones de cultivo	15
4.5	Características climáticas.....	15
4.6	Características edáficas	19
4.7	Fenología del ensayo.....	21
4.8	Tratamientos y diseño experimental.....	22
5	DETERMINACIONES EXPERIMENTALES	23
5.1	Contenido de agua en el suelo.....	23
5.2	Estudio del estado hídrico y de los procesos fisiológicos	24
5.2.1	<i>Potencial hídrico</i>	24
6	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	27
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
7.1	Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2016	27
7.1.1	<i>Potencial hídrico antes del amanecer del 2016</i>	29
7.1.2	<i>Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2016</i>	31
7.1.3	<i>Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2016</i>	33
7.1.4	<i>Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2016</i>	35

7.1.5	<i>Potencial hídrico del 2016.....</i>	37
7.2	Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2017	38
7.2.1	<i>Potencial hídrico antes del amanecer del 2017.....</i>	41
7.2.2	<i>Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2017.....</i>	42
7.2.3	<i>Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2017.....</i>	44
7.2.4	<i>Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2017</i>	45
7.2.5	<i>Potencial hídrico del 2017.....</i>	47
7.3	Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2018	48
7.3.1	<i>Potencial hídrico antes del amanecer del 2018.....</i>	51
7.3.2	<i>Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2018.....</i>	52
7.3.3	<i>Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2018.....</i>	53
7.3.4	<i>Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2018</i>	55
7.3.5	<i>Potencial hídrico del 2018.....</i>	58
8	CONCLUSIONES.....	59
9	BIBLIOGRAFÍA.....	62

1 RESUMEN / ABSTRACT

El objetivo de este trabajo ha pretendido optimizar la gestión hídrica de *Vitis vinifera* L. cv. Verdejo, dentro de la Denominación de Origen Rueda, a través de distintas estrategias de riego deficitario, frente al cultivo en secano. De esta forma se pretende establecer pautas oportunas para orientar la gestión hídrica del viñedo.

Para ello, se llevó a cabo un ensayo en un viñedo localizado en Medina del Campo (VA) durante el período 2016-2018, con un diseño en bloques al azar, siendo el factor principal el régimen hídrico, el cual consistió en la aplicación de una dosis de riego deficitaria en dos etapas diferentes del ciclo de cultivo: R0 (0% ETo), R1 (30% ETo) a partir del estado de inicio de envero hasta final de maduración y R2 (30% ETo) a partir del estado de tamaño guisante hasta final de maduración, realizando el aporte hídrico con periodicidad semanal en función de la evapotranspiración de referencia (ETo).

Se realizó un seguimiento de la evolución del estado hídrico mediante índices de potencial hídrico (Ψ_{aa} , Ψ_{7s} , Ψ_{11} , Ψ_x). Estos diferentes índices se han tratado de relacionar con umbrales de estrés hídrico, con la finalidad última de estimar la estrategia de régimen hídrico más adecuada al viñedo de esta variedad en una zona típica de su cultivo.

La aplicación de riego favoreció claramente el estado hídrico de las cepas en comparación con el secano. A pesar de ello, los resultados ponen de manifiesto que con el riego deficitario de 30% de ETo aportado previamente al envero en el tratamiento R2 o posteriormente al R1, en aquellos años de fuerte sequía, las plantas solo llegan a cubrir una reducida demanda evapotranspirativa. Sin embargo, los años en que las precipitaciones son suficientes y bien repartidas a lo largo de la época primaveral e inicio del verano, el riego de pre-envero no parece ser tan necesario.

En definitiva, la aplicación de un régimen hídrico deficitario debe plantearse en función del régimen de precipitaciones y podría resultar adecuado plantear el incremento de la aportación hídrica (% ETo) según el año meteorológico y la fecha de la fase del ciclo vegetativo.

The objective of this work was the optimization of the water management of *Vitis vinifera* L. cv. Verdejo, within the Rueda Denomination of Origin, by using different strategies of deficit irrigation, compared to dry-farmed. In this way, it is intended to establish appropriate guidelines for a correct water management of the vineyard.

For this, a trial was carried out in a vineyard located in Medina del Campo (VA) during the period 2016-2018, with a randomized block design, the main factor being the water regime, which consisted of the application of a deficit irrigation dose in two different stages of the crop cycle: R0 (0% ETo), R1 (30% ETo) from the beginning of veraison until the end of maturation and R2 (30% ETo) from pea size until the end of maturation, making a weekly water supply according to the reference evapotranspiration (ETo).

The evolution of the hydric status was monitored by using indices of water potential (Ψ_{aa} , Ψ_{7s} , Ψ_{11} , Ψ_x), with which have been tried to relate the different water stress thresholds, with the ultimate purpose of estimating the more suitable water regime strategy to the vineyard of this variety in a typical area of its cultivation.

Irrigation clearly favored the water status of the crops in comparison with the non-irrigated ones. Despite this, the results show that with the deficit irrigation of 30% of ETo provided prior to veraison in treatment R2 or later in R1, and in those years of severe drought, the plants only manage to cover a reduced evapotranspirative demand. However, in the years in which rainfall is sufficient and well distributed throughout the spring and early summer season, pre-veraison irrigation does not seem to be so necessary.

In short, the application of a deficit water regime should be based on the rainfall regime and it could be appropriate to consider the increase in the water contribution (% ETo) according to the meteorological year and the date of the vegetative cycle phase.

2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El vino elaborado a partir de variedades de uva tinta ha predominado en los gustos del consumidor de esta bebida a nivel mundial desde hace décadas. Esta tendencia, unida a diferentes políticas de reestructuración y reconversión del viñedo, como por ejemplo CE 1496/1999 (de 17 de mayo), fue relegando las variedades blancas a un segundo plano y, por tanto, a la escasez de estudios de carácter científico-técnico que permitieran su adecuación a los actuales sistemas de manejo del viñedo de la que, sin embargo, las variedades tintas sí han participado.

Los vinos tintos dominan las ventas de vino español en el conjunto de los mercados, pero son los blancos los que más crecen en la última década, avanzando mucho más rápidamente a nivel de facturación. Éstos, con 1.735 millones de litros vendidos en 2019 por valor de 1.304 millones de euros, representan el 30% del valor total y el 44% del volumen (Encuesta Industrial Anual de Productos INE, 2019).

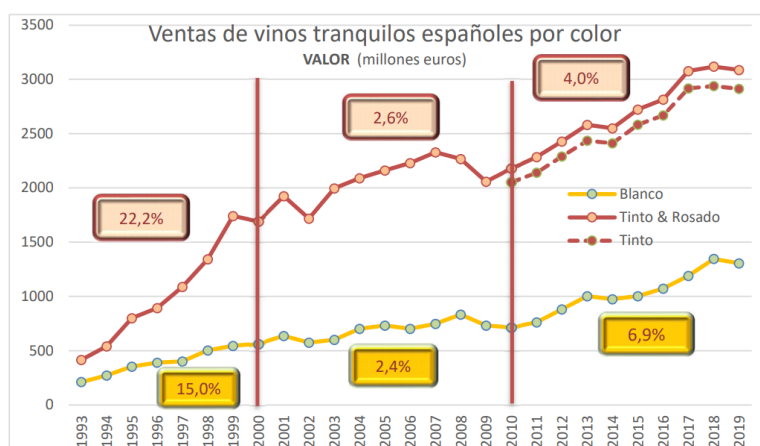


Figura 1. Observatorio Español del Mercado del Vino OEMV, 2020.

Si nos referimos al consumo en función del tipo de vino, tanto en España como en el resto del mundo, se pueden distinguir tres etapas a lo largo de los últimos 26 años, divididas por importantes puntos de inflexión: una primera etapa hasta la crisis de sobreproducción del año 2000, una segunda hasta la crisis económica mundial de 2009/2010 y una última etapa hasta la actualidad. La primera fue de muy fuerte crecimiento, la segunda de estancamiento y una tercera de aumento, pero de carácter más moderado.

En las dos primeras etapas, los vinos tintos y rosados crecieron más rápidamente que los blancos, sin embargo, en la tercera el gusto por los vinos blancos ha aumentado sensiblemente. Si en la etapa de fuerte crecimiento de los años 90, la media de ventas de vinos tranquilos blancos españoles creció tan solo el 15% (9,1% en términos de volumen), en la década siguiente, el crecimiento fue mucho más lento para los tintos, rosados y blancos, creciendo estos últimos tan solo al 2,4% (1,9% en volumen). Pero en la etapa más reciente, desde 2010, con un mayor crecimiento en general, cambian las tornas y, para una media de vinos tranquilos del 4,7% anual, los tintos apenas crecen al 4% mientras los blancos lo hacen al 6,9% (1,9% frente al 2,9% respectivamente en litros). De esta forma, se observa claramente el cambio de tendencia experimentado desde 2010, y de una forma mucho más clara en términos de volumen desde 2013, cuándo los vinos blancos empiezan a ganar popularidad en los diferentes mercados (Observatorio Español del Mercado del Vino OEMV, 2020).

La tendencia de los consumidores desde el inicio del nuevo milenio, y especialmente en la última década, se dirige al consumo de vinos más suaves, frescos y ligeros, pero con cuerpo y personalidad, por lo que dicha tendencia nos acerca a nuevos vinos blancos y rosados de calidad, con un marcado aroma afrutado. En la elaboración de este tipo de vinos blancos y rosados se emplean múltiples variedades de uva, y entre ellas la variedad verdejo, la cual entra con fuerza en la confección de estos nuevos vinos blancos.

2.1 La variedad Verdejo

El origen de la variedad de vid Verdejo no se conoce con exactitud. Lorenzo (1978) indica que pudo trasladarse desde la comarca de "La Algaida", antigua comarca de vides "subespontáneas" (no cultivadas) junto a Sanlúcar de Barrameda (Cádiz). Desde esa zona podría haber sido difundida por los mozárabes a partir del siglo XI. La expansión y el mantenimiento de la variedad Verdejo en la alta edad media estuvo relacionada con algunos monasterios cistercienses (Martínez 1991). En el siglo XVI es cuando esta variedad alcanza su óptimo asentamiento en la histórica Tierra de Medina, subzona de Madrigal de las Altas Torres (Ávila) y Alaejos principalmente, dando lugar a vinos de

naturaleza análoga a los generosos secos de Andalucía Occidental. En el XVII continuó el asentamiento de esta variedad en Medina del Campo, en la primera mitad del siglo XVIII en Nava del Rey, y en la segunda mitad en Rueda, llegando a La Seca en el siglo XIX (Rubio y Yuste 2009).

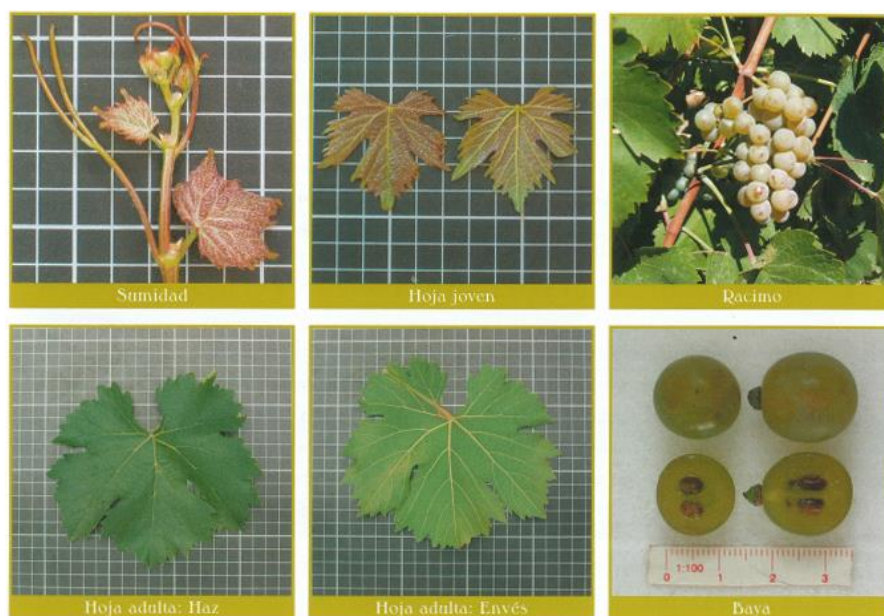


Figura 2. Detalles morfológicos de diversas estructuras vegetativas de la variedad Verdejo: clon CL-101

Las características ampelográficas de la variedad Verdejo definen una vid de porte semirrastrero, pámpanos con numerosos y fuertes zarcillos, hojas con el haz de color verde vivo, orbiculares o arriñonadas, con el envés prácticamente sin pilosidad, con tres o cinco lóbulos (existe cierta variación morfológica en la hoja) y con el seno peciolar en forma de lira con mayor o menor apertura según las hojas. El racimo es pequeño o mediano en general, compacto y con el pedúnculo corto o muy corto. La baya suele ser de un tamaño mediano, de color verde-amarillento, de forma esférica, con la pulpa no coloreada, el hollejo de grosor medio y con pepitas de tamaño apreciable, incluso grandes si las relacionamos con el tamaño de la baya (Rubio et al. 2003).

Se trata de una variedad de productividad media-baja, con un racimo y baya de tipo mediano, y cuyo índice de Ravaz puede considerarse, en general, también medio-bajo. Sin embargo, dicho índice se puede conseguir elevar mediante podas mixtas o largas, sin modificar apenas las características del mosto (Yuste et al. 2015), o bien, mediante clones certificados más productivos.

En la actualidad, la variedad Verdejo es la base de los vinos de la Denominación de Origen Rueda, vinos blancos con marcado carácter que, junto con las características edafo-climáticas de la zona, los sitúa entre los mejores vinos blancos de España.

2.2 Marco actual de la variedad Verdejo

La variedad Verdejo ha mantenido su área de cultivo muy bien delimitada en la zona centro de la Meseta Norte, en las provincias de Ávila, Segovia y Valladolid. En la actualidad se cultiva como variedad principal en la D.O. Rueda. Su expresivo carácter y la calidad de los vinos elaborados con esta variedad han hecho que su distribución se amplíe de forma rápida en los últimos años a diversas zonas vitícolas como la Meseta Sur o la Rioja, donde hace más de una década la variedad fue autorizada por la D.O.Ca. Rioja.

Hoy en día, la D.O. Rueda, donde se ubica el ensayo experimental del presente estudio, es la D.O. más potente de vino blanco de calidad, con un 40 por ciento de cuota de mercado de este sector en España, con más de 18.000 hectáreas (en 1980 no se superaban las 3.000 hectáreas de viñedo), y con la variedad Verdejo en la cúspide de este logro. En total, 92,8 millones de botellas fueron comercializadas en 2019, con un incremento del 13 por ciento respecto al año anterior y una producción que se situó en los 115 millones de kilos (Consejo Regulador D.O. Rueda, 2020).

2.3 Problemática de estudio

En este marco, donde año tras año aumenta el consumo de vino blanco, se hace necesario profundizar en el estudio de las variedades de uva blanca para vinificaciones de calidad, con la finalidad de obtener el máximo nivel en la expresión de sus peculiaridades. El objetivo es plasmar sus características diferenciales en los vinos generados a partir de ellas, y por tanto, lograr una mejora en la tipicidad de los vinos, aspecto fundamental demandado en el mercado actual. Todo ello, sin olvidar mantener la productividad necesaria para la rentabilidad del cultivo.

El aumento de la competitividad, así como la sostenibilidad del cultivo de estas variedades en el tiempo, pasa por aumentar el conocimiento y la optimización

de las respuestas de las mismas a las diferentes prácticas de cultivo en cada zona, donde el manejo del riego juega un papel fundamental dentro de estas prácticas agrícolas. El manejo del riego es una herramienta clave en la regulación del balance entre producción y calidad de la uva, así como en lograr la sostenibilidad del cultivo de la vid a la hora de afrontar los retos venideros frente a la situación actual de Cambio Climático (AR5. IPCC, 2014).

En la zona vitícola objeto de estudio, D.O. Rueda, es incuestionable la contribución del riego al aumento de la producción, pero también es cierto que el modo en que se aplica dicho riego necesita de una mayor base científico-técnica, la cual se logra mediante la obtención de nuevos conocimientos a través de estudios que aporten información de cómo esta técnica afecta a la planta a nivel fisiológico y a la evolución de la composición de la uva. Se añade además la necesidad de buscar soluciones desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, especialmente en una gestión eficiente en el uso del agua de riego, recurso cada vez más escaso. Por este motivo, se dictó la Directiva Marco Europea del Agua (DMA), Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, la cual nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea.

Por todo ello, el sector vitícola de variedades blancas y en particular en la variedad Verdejo, necesita obtener información de los efectos que desde el punto de vista fisiológico se puedan producir en la vid en función de cómo se realice el manejo en la aplicación eficiente del agua de riego.

2.4 Financiación del proyecto

A través del INIA, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, y de su Programa Estatal de I+D+I orientado a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016, fue concedida una línea de financiación de 2015 a 2019 para la ejecución del proyecto de investigación fundamental "Gestión hídrica y agronómica del cultivo de variedades blancas de vid para mejorar su competitividad y su sostenibilidad productiva, cualitativa y medioambiental" (RTA2014-00049-C05-00). El ITACYL (Castilla y León) participó a través del subproyecto "Gestión hídrica y

agronómica del cultivo de la variedad Verdejo para mejorar su competitividad y su sostenibilidad productiva, cualitativa y medioambiental”, ejerciendo su Investigador Principal de coordinador de otros cuatro subproyectos en los que también participaban: INTAEX (Extremadura), FUNDESCAM (Castilla La Mancha), ICVV-CSIC (La Rioja) y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC) (Galicia).

2.5 Estado actual del problema

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, el sector agrícola consume un tercio de las reservas de agua en Europa. Además, la actividad industrial y empresarial, el modelo de vida actual y las necesidades derivadas del crecimiento demográfico, rivalizan con el entorno por el consumo del agua. A ello se añade el Cambio Climático, generando un elemento de incertidumbre, en lo que a la disponibilidad de recursos hídricos se refiere (CEDEX, 2017).

Dados los cambios previstos en las pautas de precipitaciones, se espera en el futuro que, en ciertas zonas de Europa, la disponibilidad de sus reservas hídricas se vea claramente mermada. Tal es el caso de los países del sur de Europa, como Grecia, Italia, Portugal, Chipre, Francia meridional o España, donde las condiciones áridas y semiáridas imponen el uso del riego, al cual se destina en dichas regiones casi el 80 % del agua utilizada en la agricultura (AR5. IPCC, 2014).

Sin embargo, el riego de los cultivos no tiene porqué comportar necesariamente un consumo hídrico tan elevado, pudiéndose controlar tanto mediante una eficiente red de transporte del agua, como mediante su aplicación eficiente en el campo, obteniéndose una relación más favorable entre el agua realmente utilizada para un cultivo y la cantidad total de agua aplicada.

Otro aspecto a considerar es el coste energético ligado al riego, que representa una partida económica que el agricultor, o en este caso el viticultor, debe minimizar o rentabilizar al máximo, por lo que la aplicación del riego en la dosis y en el momento adecuado representa un aspecto fundamental para lograr una

viticultura sostenible sin provocar pérdidas productivas ni afectar negativamente a la calidad del producto final.

La mejora en el uso eficiente del agua (EUA), en las diferentes variedades de vid, requiere de avances en el conocimiento sobre su respuesta ecofisiológica al estrés hídrico (Montoro et al. 2012, Tomás et al. 2012, Medrano et al. 2015). Numerosos trabajos han comparado diferentes variedades en términos de EUA, obteniendo diferentes resultados en función de su diversidad genética (Mullins et al. 1992), condiciones medioambientales y/o duración e intensidad del nivel de estrés hídrico (Bota et al. 2001, Schultz 2003, Chaves et al. 2010, Tomás et al. 2012, Rogiers et al. 2012, Pou et al. 2012, Tramontini et al. 2014).

Estas diferencias entre variedades en la EUA queda bien determinada gracias a la relación entre la disponibilidad de agua por parte de la planta y la pérdida de agua generada por la transpiración. En plantas que presentan metabolismo C_3 , como es el caso de la vid, el uso más eficiente del agua está directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras la planta absorbe el CO_2 para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración, con intensidad variable en función de la conductancia estomática y del gradiente de potencial entre la superficie foliar y la atmósfera, siguiendo una corriente de potenciales hídricos (Pereira-Netto et al., 2002). Por ello, al disminuir la conductancia aumentaría la eficiencia intrínseca del uso del agua (A/g_s). Varios son los factores que influyen directa o indirectamente en la fotosíntesis y entre ellos, el déficit hídrico, el cual puede ser estimado a través del potencial hídrico de las hojas.

De esta forma, en vid, se han descrito dos comportamientos diferenciales frente al estrés hídrico: isohídricas y anisohídricas (Schultz 2003). Sin embargo, las mismas variedades de vid cultivadas en diferentes ambientes y/o climas, pueden exhibir ambos tipos de respuesta. (Collins et al. 2010, Pou et al. 2012, Tramontini et al. 2014). Ello nos lleva a considerar que las características fisiológicas de cualquier variedad son muy complejas y están altamente condicionadas por la fuerte interacción entre variedad y ambiente, especialmente en el control de la función estomática, en una situación de déficit hídrico del suelo (Domec y Johnson 2012).

Así pues, comprender qué comportamientos predominan en cada variedad y en cada circunstancia puede ser beneficioso para la toma de decisiones de riego.

Como consecuencia, son numerosos los trabajos de investigación publicados que han estudiado el comportamiento de la vid ante distintas estrategias de riego, como es el caso de la técnica de riego deficitario, a través de la cual se persigue la mejora de la EUA del cultivo de la vid para vinificación, según los objetivos vitivinícolas buscados (Ferreeres y Soriano 2007, Medrano et al. 2015). La técnica del riego deficitario se basa en la reducción de los aportes hídricos en ciertos periodos fenológicos, con el fin de inducir cierto nivel de estrés hídrico en la vid, al suministrar menos agua de la necesaria para satisfacer la demanda estimada de agua por parte de la planta (ET_c), ya que los efectos del riego y del estado hídrico de las cepas inciden sensiblemente sobre el rendimiento y la composición final de la uva (Keller 2005), pudiendo tener efectos directos e indirectos sobre la síntesis de metabolitos primarios (de Luc et al. 2009) y secundarios (Castellarin et al. 2007, Kennedy 2008).

Existen diversos modos de aplicación de riego deficitario, como el Riego Deficitario Sostenido (RDS), el Secado Parcial de Raíces (técnica más conocida por sus siglas en inglés: Partial Root-zone Drying, PRD) y el Riego Deficitario Controlado (RDC). La principal diferencia entre las distintas modalidades estriba en cuándo y de qué forma es suministrada por el riego la fracción de ET_c durante la temporada de crecimiento. En el caso del RDC, la fracción de ET_c se implementa en etapas fenológicas concretas (Munitz et al. 2017, Casassa et al. 2015, Shellie 2014, Romero et al. 2010). Mediante esta gestión del riego se puede inducir cierto nivel de estrés hídrico en diferentes etapas fenológicas, influyendo de esta forma en la respuesta de la vid y la calidad de la baya (Hardie y Considine 1976, McCarthy 1997).

Con el fin de evaluar el estado hídrico de las cepas durante la aplicación de un programa de riego concreto, es necesario disponer de técnicas de medición que representen el estado hídrico real de la planta. Según Cifre et al. (2005), la conductividad estomática (g_s) es el indicador más preciso del estado hídrico de la planta. Además, los trabajos de Flexas et al. (2002) y Flexas y Medrano (2002) han demostrado que la fotosíntesis neta (A_N) de la vid se relaciona más

directamente con la conductancia estomática que con otros parámetros de medición como el potencial hídrico. Sin embargo, debido a la complejidad de la medición de la g_s en el campo, se recurre ampliamente a la evaluación del estado hídrico de la cepa mediante el uso del potencial hídrico de la hoja, cuyos valores muestran una correlación directa con la g_s . El potencial hídrico es medido en diferentes momentos del día, a través de la cámara de Scholander (1965).

Diversos trabajos han estudiado las consecuencias de mantener un cierto nivel de estrés hídrico en distintos periodos fenológicos, habiéndose comprobado que el periodo entre brotación y cuajado de la baya es muy sensible al estrés hídrico, pudiendo disminuir significativamente los rendimientos, debido a un menor porcentaje de frutos cuajados y, posiblemente, a un menor número de racimos (Hardie y Martin 1990, Ferreyra et al. 2002). Además, la reducción del tamaño y el peso de la baya puede ser muy significativa (Van Leeuwen y Seguin 1994, Páez 2002, Ojeda et al. 2002).

Un estrés hídrico moderado impuesto entre el cuajado y el envero modifica la estructura de la pared celular de la baya, reduciendo la extensibilidad de dicha pared celular y limitando el agrandamiento del pericarpio durante la maduración de la baya (Ojeda et al. 2001). Estos resultados, obtenidos en la variedad Shiraz, concuerdan con los obtenidos por Gurovich y Páez (2004) en la variedad Carmenère; sin embargo, los resultados obtenidos por estos autores en la variedad Cabernet Sauvignon no son tan consistentes. Además, en esta misma variedad, también se ha observado un aumento en la concentración de antocianos, al incrementarse su expresión genética en la vía biosintética (Castellarin et al. 2007b).

Un estrés hídrico moderado después del envero, reducir el tamaño de la baya (básicamente por deshidratación), disminuyendo la productividad, aunque en menor medida que con déficit hídrico inducido antes del envero (Hardie y Martin 1990, Coombe and McCarthy 2000, Ojeda, et al. 2002), a la vez que se produce un incremento neto de la concentración de sólidos solubles y se estimula un adelanto en la lignificación de los sarmientos (Coombe and McCarthy 2000, Ferreyra et al. 2002). También se ha observado un incremento

en la acidez titulable del mosto y en la concentración de antocianos en ciertas situaciones (Nadal y Arola, 1995, Ferreyra et al. 2002, Ojeda et al. 2002).

Sin embargo, hay una falta de consenso sobre la influencia del momento fenológico de aplicación de una gestión de riego a través del RDC para conseguir un aumento en la concentración y el contenido fenólico de la baya (Ojeda et al. 2002, Castellarin et al. 2007a, Ollé et al. 2011, Shellie 2014, Casassa et al. 2015, Munitz et al. 2016).

Cabe destacar, que el efecto del riego en el viñedo tiene un carácter varietal importante, y que por lo tanto, no siempre es reflejado de igual forma entre variedades, además de presentar una clara dependencia de las características del año climático (Cancela et al. 2016). No obstante, los múltiples trabajos relacionados con este aspecto se han centrado prioritariamente en variedades tintas, como se puede observar en las distintas citas expuestas anteriormente. Teniendo en cuenta que, en la actualidad, las variedades blancas juegan un papel de vital importancia para la economía del sector vitivinícola español, siguen siendo escasos los estudios de carácter científico-técnico planteados para este tipo de variedades (Yuste et al. 2013, Martínez et al. 2016, Cancela et al. 2019) para, que sirvan de apoyo en la toma de decisiones a los profesionales del sector. De esta forma, en este estudio se pretende incrementar el grado de conocimiento científico-técnico para poder establecer los criterios adecuados a la hora de elegir una u otra estrategia de riego en el viñedo, la cual tendrá una repercusión directa en el estado de las cepas y en los objetivos productivos deseados, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo.

3 OBJETIVO

La respuesta del viñedo al riego presenta un carácter varietal importante, no siempre reflejada de igual forma entre variedades, además de presentar una clara dependencia de las características del año climático.

La aplicación de un riego deficitario en las fases fenológicas críticas del cultivo ha demostrado ser una técnica eficiente en variedades tintas. En el mismo sentido conviene comprobar el efecto sobre las principales variedades blancas cultivadas en España, del cual hay escasez de información.

La mejora en el uso eficiente del agua, en las diferentes variedades de vid, requiere de avances en el conocimiento sobre su respuesta ecofisiológica al régimen hídrico y al correspondiente estado hídrico de la cepa.

El objetivo de este trabajo es describir la respuesta del estado hídrico del cv. Verdejo a la variación del régimen hídrico de cultivo, debido a la importante repercusión que tiene en su actividad fisiológica, y, consecuentemente en su desarrollo, productividad y calidad de uva.

Para ello, se aplicó una dosis de riego deficitaria en dos etapas diferentes del ciclo de cultivo, a partir del estado de tamaño guisante y a partir del estado de inicio de envero hasta final de maduración. El aporte deficitario de agua se realizó en función de la evapotranspiración de referencia (30% de ETo).

El estado hídrico se estimó periódicamente a través de diversos tipos de potencial hídrico en varios momentos del día, tratando de relacionar los valores obtenidos en dichas medidas con umbrales de estrés hídrico, con la finalidad última de estimar la estrategia de régimen hídrico más adecuada al viñedo de Verdejo en la zona típica de su cultivo.

4 CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

4.1 Periodo de estudio

El estudio se llevó a cabo durante los años 2016, 2017 y 2018.

4.2 Ámbito geográfico

El ensayo experimental se encuentra ubicado dentro de la Denominación de Origen Rueda, perteneciente a la comunidad autónoma de Castilla y León, en el término municipal de Medina del Campo (Valladolid).



Figura 3. Localización de la D.O. Rueda.

El viñedo objeto de estudio está situado en la finca La Capitana (48,5 ha), propiedad del Grupo Yllera S.L., y su localización se corresponde con las coordenadas geográficas 41°21'2" Norte y 4°56'16" Oeste (Coordenadas UTM: Huso 30T, X=337.885 Y=4.579.491).



Figura 4. Situación de la parcela experimental.

4.3 Características del viñedo

El ensayo experimental se encuentra formado por cepas plantadas en el año 2006, de la variedad Verdejo, clon CL-101, injertadas sobre el portainjerto Richter-110. El marco de cultivo es 2,6 x 1,25, que corresponde a un área de suelo por cepa de 3,25 m², o sea, a una densidad de 3.077 cepas por hectárea. Las cepas han sido conducidas en espaldera. La formación se realizó en cordón Royat bilateral con una distancia de los brazos al suelo de 60 cm. La orientación de filas es NNO (N-25°). Anualmente se establecieron, a través de

la poda en seco, cuatro pulgares por brazo con dos yemas francas (16 yemas por cepa).

El riego fue aplicado en la línea de cepas, con goteros autocompensantes de caudal nominal 2,6 L/h, colocados cada 75 cm. De esta forma la pluviometría aplicada fue de 1,33 L/m²h.

4.4 Operaciones de cultivo

Las prácticas culturales aplicadas a todo el viñedo de la finca fueron las típicas empleadas en la zona para un viñedo convencional. De esta forma, anualmente se procedió a la eliminación de vegetación espontánea a través del pase de un cultivador en las calles, recogida de la vegetación mediante alambres móviles de sujeción, deshojado y despuntado, aplicación del programa fitosanitario correspondiente en función de las plagas y enfermedades que anualmente se pudieron producir, abonado de las cepas a través de fertirrigación, riego localizado mediante tubo de goteo, vendimia mecanizada, prepoda mecanizada y poda en seco.

Sin embargo, en la parcela experimental había ciertas operaciones de cultivo diferenciales, como son la poda en verde, la eliminación de vegetación espontánea entre cepas, la vendimia manual y la eliminación de la prepoda. Además, las dosis de riego se modificaron en función del tratamiento aplicado.

4.5 Características climáticas

Por su latitud, la zona de Rueda queda enclavada en el ámbito mediterráneo, según define el pliego de condiciones de la D.O. Rueda. Sin embargo, por su altitud, se manifiesta la influencia continental con la influencia de vientos atlánticos del Oeste y del Suroeste, que son los que traen los temporales de lluvia en otoño.

La temperatura media anual es del orden de 12,7° C, con marcados contrastes térmicos, propios de un clima continental. La oscilación anual es de unos 17° C. Las máximas extremas pueden llegar a superar los 40° C y las mínimas hasta los -10° C. El periodo libre de heladas va desde finales de abril a mediados de octubre.

La precipitación media anual es del orden de 400 mm. El número medio anual de días de lluvia oscila de 60 a 70. Los veranos son cálidos y secos, con fuerte insolación.

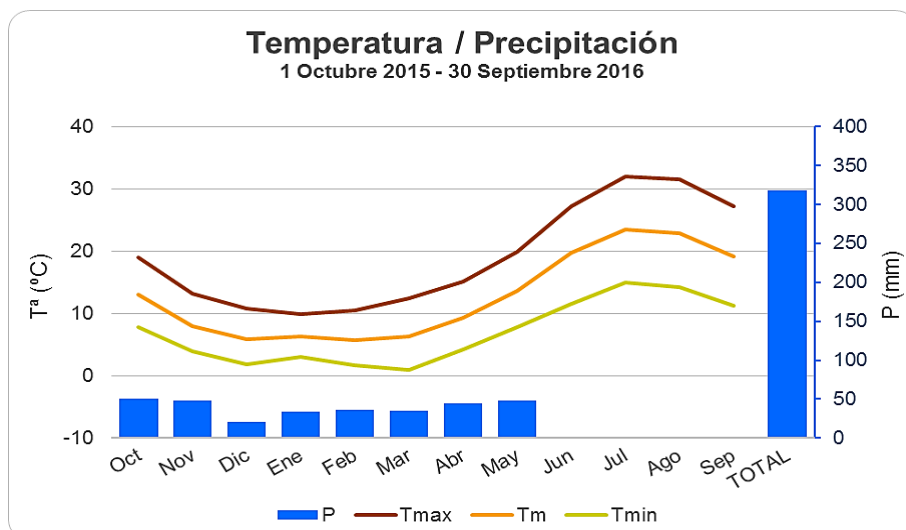
Los datos termo-pluviométricos de los tres años de estudio, se corresponden con la media de los valores recogidos de las dos estaciones agrometeorológicas más cercanas al ensayo experimental pertenecientes a la Red SIAR. La localización de dichas estaciones es la siguiente: estación VA102 Medina del Campo (Valladolid) y estación VA103 Rueda (Valladolid).

La campaña 2016 se caracterizó climatológicamente por presentar un nivel de precipitación inferior a la media anual de la zona. El total de las precipitaciones se repartieron de forma regular a lo largo de los meses del otoño y del invierno del 2015 y los primeros meses de la primavera del 2016, no registrándose ninguna precipitación durante el verano (Tabla 1).

Tabla 1. Valores termopluiométricos del año vitícola **2016** (octubre 2015 - septiembre 2016). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm); **Pe**: precipitación eficaz (mm); **ITE**: Integral térmica eficaz (°C); **ETo**: Evapotranspiración potencial de referencia.

		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
2015/2016	Tm	13,1	8,0	5,8	6,3	5,8	6,3	9,3	13,7	19,7	23,5	22,9	19,1	12,8
	Tmax	19,0	13,1	10,9	10,0	10,6	12,4	15,1	19,9	27,3	32,0	31,5	27,2	19,1
	Tmin	7,8	3,9	1,8	3,0	1,7	1,0	4,2	7,8	11,6	14,9	14,2	11,2	6,9
	P	51	48	20	34	36	35	44	49	0	0	0	0	318
	Pe	22,1	25,0	5,5	9,8	10,1	12,1	22,4	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	125
	ITE	99	26	2	2	4	5	14	116	282	418	401	273	1643
	Eto	59	26	20	23	41	68	86	119	157	194	169	105	1066

Respecto a las temperaturas, los valores de temperatura media, mínima y máxima se mantuvieron dentro de lo normal en comparación con un año típico para la zona, pudiéndose destacar únicamente valores de temperatura máxima y de temperatura media de los meses de julio y agosto, algo más altos de lo habitual (Tabla 1)



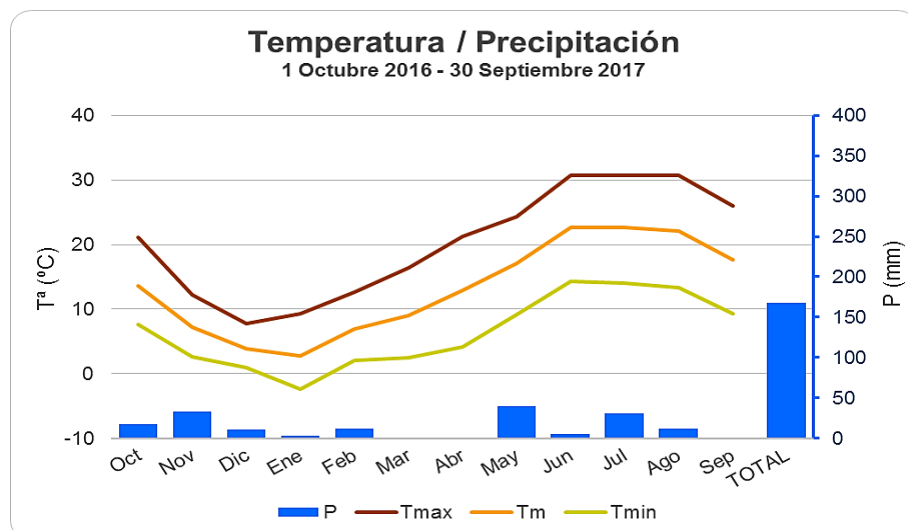
Gráfica 1. Representación de los valores termopluviométricos del año vitícola **2016** (octubre 2015 - septiembre 2016). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm).

A nivel climatológico, la campaña 2017 estuvo marcada, al igual que en gran parte de Castilla y León, por un nivel de sequía importante. El nivel de precipitación se situó muy por debajo de la media anual, registrándose únicamente 167 mm en el ciclo. Las escasas precipitaciones se repartieron de forma irregular concentrándose principalmente en los meses del otoño anterior, mayo y julio (Tabla 2).

Tabla 2. Valores termopluviométricos del año vitícola **2017** (octubre 2016 - septiembre 2017). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm); **Pe**: precipitación eficaz (mm); **ITE**: Integral térmica eficaz (°C); **ETo**: Evapotranspiración potencial de referencia.

		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
2016 / 2017	Tm	13,7	7,2	3,9	2,7	7,0	9,1	12,9	17,0	22,7	22,6	22,1	17,6	13,2
	Tmax	21,1	12,2	7,8	9,2	12,7	16,4	21,2	24,3	30,7	30,7	30,7	26,0	20,3
	Tmin	7,6	2,6	1,0	-2,4	2,0	2,4	4,1	9,2	14,4	14,0	13,3	9,3	6,5
	P	18	33	11	3	12	1	1	40	6	31	12	0	167
	Pe	8,6	15,2	4,6	0,2	6,3	0,0	0,0	20,0	1,0	17,6	5,4	0,0	79
	ITE	58	2	0	0	0	9	45	109	194	199	187	115	919
	Eto	62	26	14	27	47	82	138	150	187	196	175	123	1228

Los valores de temperatura, se incrementaron considerablemente a partir del mes de enero, manteniéndose esta tendencia de temperaturas más elevadas durante la primavera y el inicio del verano. Esta situación pudo favorecer una brotación y una maduración de la baya más temprana (Tabla 2).



Gráfica 2. Representación de los valores termopluviométricos del año vitícola **2017** (octubre 2016 - septiembre 2017). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm).

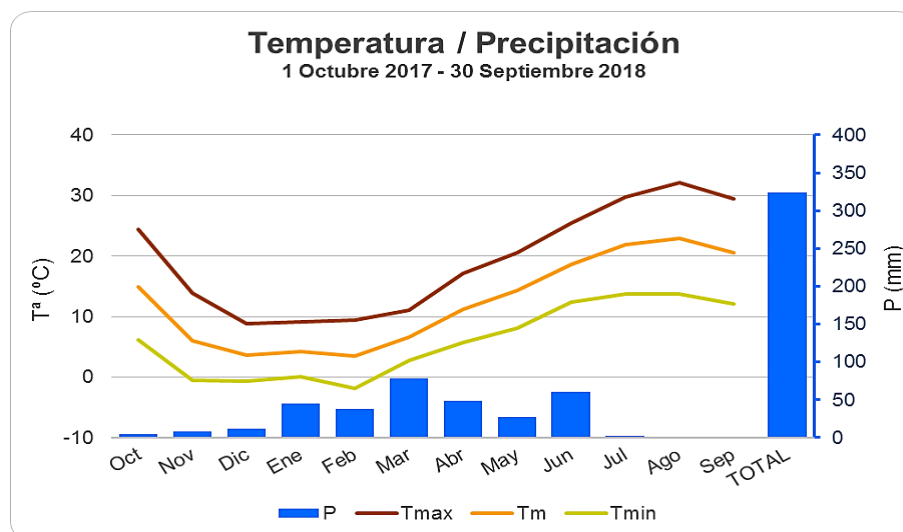
El 2018 a nivel climatológico, se caracterizó por un nivel de precipitación similar a la campaña del 2016, sin embargo, el reparto de agua de lluvia caída a lo largo del año fue muy distinto. Se caracterizó por un otoño muy seco, no llegándose a superar los 30 mm. Las precipitaciones se concentraron principalmente entre los meses de enero y junio. A lo largo de la estación primaveral las lluvias estuvieron repartidas en el tiempo, con muchos días de registro pluviométrico. Por otro lado, el verano fue seco en general, lo que es habitual en esta zona (Tabla 3).

Tabla 3. Valores termopluviométricos del año vitícola **2018** (octubre 2017 - septiembre 2018). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm); **Pe**: precipitación eficaz (mm); **ITE**: Integral térmica eficaz (°C); **ETo**: Evapotranspiración potencial de referencia.

		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
2017 / 2018	Tm	14,9	6,1	3,6	4,2	3,5	6,6	11,1	14,2	18,5	21,9	23,0	20,6	12,3
	Tmax	24,4	13,9	8,9	9,1	9,4	11,1	17,1	20,6	25,4	29,8	32,1	29,4	19,3
	Tmin	6,1	-0,5	-0,7	0,1	-1,9	2,7	5,7	8,1	12,4	13,7	13,8	12,1	6,0
	P	5	9	12	44	37	78	48	27	60	3	0	1	324
	Pe	1,9	2,6	2,6	21,8	19,5	33,3	17,3	6,9	23,4	0,0	0,0	0,0	129
	IT _E	155	13	1	3	2	2	67	129	256	369	402	317	1717
E _{to}	80	33	21	24	38	66	98	111	141	184	183	125	1104	

En cuanto a la temperatura, el invierno se caracterizó por ser más frío que en las campañas precedentes. Sin embargo, la primavera mostró valores de

temperatura mucho más suaves y la estación de verano presentó valores de temperatura típicos para la zona (Tabla 3).



Gráfica 3. Representación de los valores termopluviométricos del año vitícola **2018** (octubre 2017 - septiembre 2018). **Tm**: temperatura media (°C); **Tmax**: temperatura media de máximas (°C); **Tmin**: temperatura media de mínimas (°C); **P**: precipitación (mm).

Por otro lado, en la zona donde se ubica el ensayo no se registraron daños por helada o por tormentas de granizo, en ninguna de las tres campañas

4.6 Características edáficas

Se prospectó el suelo de la zona del ensayo mediante la realización de tres calicatas, pudiendo determinar de esta forma sus características edáficas. No se observaron diferencias importantes entre calicatas, a excepción de ligeras variaciones en la potencia de los horizontes, los cuales a su vez presentaron una textura y composición muy homogénea. Por ello, se consideró el suelo similar en toda la parcela experimental, empleándose una calicata representativa a modo de referencia para la descripción del perfil tipo del ensayo y la composición del suelo.

Se debe destacar, que los dos horizontes más profundos presentaban gran similitud, diferenciándose fundamentalmente en el mayor porcentaje de elementos gruesos que presentaba el horizonte más profundo, de modo que, a efectos prácticos, se tomó una muestra única para análisis.

Tabla 4. Profundidad (cm), color (Munsell) y clasificación USDA de los horizontes de la calicata de referencia.

Profundidad	Color (Munsell)	Clasificación USDA (2006)	
		Haploxeralf cálcico	
		Horizonte genético	Horizonte diagnóstico
0-20	10YR3/4	Ap	Óchrico
20-45	10YR3/4	A12	Óchrico
45-75	5YR5/7	Bt	Argílico
75-125	7.5YR4/5	Bk	Cálcico
125-145	5YR7.5/7	C	No diagnóstico
145-180	10YR5/2	2Ck	Cálcico

Tabla 5. Profundidad (cm), granulometría (%), elementos gruesos (%), densidad aparente (g/cm³) y clasificación textural USDA de los horizontes de la calicata de referencia.

Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	Elementos gruesos	Densidad aparente	Clasificación textural
0-20	58	25	18	3	1,60	Franco-Arenosa
20-45	60	24	17	5	1,59	Franco-Arenosa
45-75	56	21	23	3	1,50	Franco-Arcillo-Arenosa
75-125	71	9	21	18	1,47	Franco-Arcillo-Arenosa
125-145	81	9	10	3	1,75	Arenosa
145-180	40					

Tabla 6. Profundidad (cm), materia orgánica (%), conductividad eléctrica (μS/cm), pH y contenido en carbonatos (%) y caliza activa (%) de los horizontes de la calicata de referencia.

Profundidad	Materia orgánica	Conductividad eléctrica	pH (1:2,5)	Carbonatos	Caliza activa
0-20	0,92	178,0	7,83	<3	–
20-45	1	64,5	7,63	<3	–
45-75	0,32	53,5	7,64	<3	–
75-125	0,19	69,3	8,25	33	11
125-145	0,11	60,0	8,40	36	4
145-180					

Tabla 7. Profundidad (cm), contenido en fósforo (P, ppm), potasio (K, cmol+/kg), calcio (Ca, cmol+/kg), magnesio (Mg, cmol+/kg), sodio (Na, cmol+/kg), carbono total (CTOTAL, %) y nitrógeno total (NTOTAL, %), así como la relación carbono/nitrógeno (C/N) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC, cmol+/kg), de los horizontes presentes en la calicata de referencia.

Profund.	P	K	Ca	Mg	Na	CTOTAL	NTOTAL	C/N	CIC
0-20	28,83	0,55	10,60	2,31	1,19	0,558	0,190	2,93	14,10
20-45	25,78	0,32	8,57	1,87	0,70	0,350	0,146	2,39	11,15
45-75	7,39	0,36	12,50	2,05	1,32	0,200	0,031	6,50	15,87
75-125	5,61	0,39	22,91	1,66	1,72	0,250	0,019	13,33	26,29
125-145	9,69	0,33	21,64	1,10	1,48	0,200	0,008	26,67	24,21
145-180									

En los análisis realizados cabe destacar los altos valores obtenidos de pH especialmente en los tres últimos horizontes, aunque sin observarse problemas para la absorción de nutrientes en los años precedentes al establecimiento del ensayo y durante su realización.

El contenido en materia orgánica ha sido muy escaso en todos los horizontes, lo que es habitual en los suelos de la zona. A su vez, los niveles de nitrógeno son en general muy bajos en todos los horizontes, generándose así una relación C/N especialmente baja en los horizontes superiores, por lo que el potencial de mineralización de la materia orgánica es limitado.

La concentración de calcio ha reflejado un nivel medio en los tres primeros horizontes, duplicándose su valor en los siguientes horizontes. Los valores de fósforo son medios hasta los 45 cm y muy bajos a partir de ahí, probablemente debido a que su origen antrópico.

Sin embargo en los años previos al inicio del ensayo y durante la realización del mismo, no se detectaron síntomas de clorosis o carencias nutricionales en las plantas.

4.7 Fenología del ensayo

Para la determinación de los diferentes estados fenológicos a lo largo del ciclo de cultivo, se empleó la escala de Baillod y Baggiolini (1993). El cambio de un estado fenológico a otro se consideró al superarse de forma visual el 50% de las plantas en cada fase.

Tabla 8. Fecha de alcance de los diferentes estados fenológicos, según la escala de Baillod y Baggiolini, del año vitícola 2016, 2017 y 2018.

	2016	2017	2018
Brotación	11-13 abr	27 mar	23 abr
Floración	8 jun	21 may	17 jun
Tamaño guisante	28 jun	14 jun	10 jul
Envero	23 ago	4 ago	25 ago
Madurez	27 sep – 6 oct	30 ago	26 sep

4.8 Tratamientos y diseño experimental

El ensayo experimental se diseñó siguiendo un modelo en bloques al azar con un único factor, el régimen hídrico.

El factor de estudio, el régimen hídrico, consistió en la aplicación de una dosis de riego deficitaria en dos etapas diferentes del ciclo de cultivo, cuyo aporte se realizó con periodicidad semanal en función de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

Los tratamientos de riego fueron:

- R0: secano (0% ET_o).
- R1: riego al 30% ET_o a partir del estado de inicio de envero hasta final de maduración.
- R2: riego al 30% ET_o a partir del estado de tamaño guisante hasta final de maduración.

La ET_o fue determinada a partir de los valores diarios medidos durante la semana anterior, mediante la Red SIAR, para el cálculo de la dosis de riego semanal. La ET_o total semanal, empleada para calcular la dosis a aplicar, fue la suma de los valores diarios de cada semana inmediatamente anterior a la que se aplicó el riego.

El riego se aplicó siempre durante la noche, para reducir en lo posible las pérdidas por evaporación, considerándose una eficiencia en la aplicación del 95%. La aplicación del riego semanal se efectuó de lunes a martes, realizándose las correspondientes medidas semanales de potencial hídrico y fisiología prioritariamente el miércoles. De este modo, se proporcionó a los tratamientos regados un periodo de rehidratación adecuado para poder reflejar en las medidas la influencia de la dosis de riego recibida.

Tabla 9. Fechas de inicio y finalización del periodo de aplicación de riego y cantidad total de agua aportada (mm), en los tratamientos R0, R1 y R2, durante los años vitícolas 2016, 2017 y 2018.

	2016		2017		2018	
	Periodo	mm	Periodo	mm	Periodo	mm
R0	-	0	-		-	

R1	16 ago. – 3 oct.	73	7 ago. – 18 sep.	74	20 ago. – 1 oct.	68
R2	11 jul. – 3 oct	139	26 jun. – 18 sep.	144	16 jul. – 1 oct.	131

El ensayo experimental quedó conformado con cuatro bloques. Cada unidad experimental constaba de cuatro filas de viñedo con diez cepas cada una. Las dos filas laterales se consideraron elemento borde de la unidad experimental y las dos centrales de control. A su vez, se consideraron también elementos borde la primera y la última cepa de cada tratamiento, para eliminar la posible influencia entre cepas contiguas de distintos tratamientos. Por lo tanto, el número de cepas de control en cada unidad experimental, fue de 16 plantas.

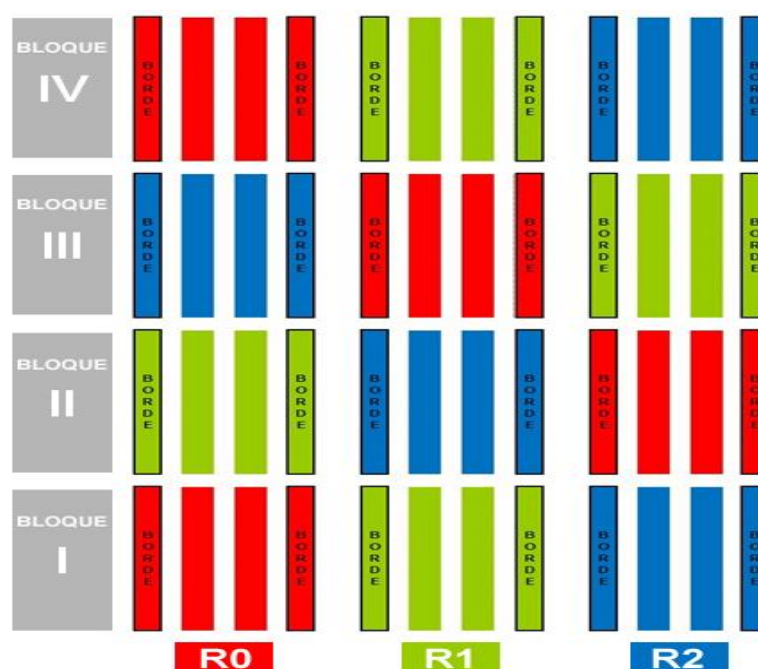


Figura 5. Esquema de distribución de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul) en la parcela experimental.

5 DETERMINACIONES EXPERIMENTALES

5.1 Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo se midió empleando la técnica time domain reflectometry (TDR), que relaciona una constante dieléctrica del suelo con un porcentaje de humedad en el suelo. Para ello, se instalaron sondas metálicas enterradas hasta 60 cm de profundidad en cada parcela experimental, en la zona de influencia del gotero, y a unos 20 cm de distancia del mismo. Las

mediciones se realizaron con periodicidad quincenal durante el periodo activo de la vid y mensual durante la parada vegetativa.

5.2 Estudio del estado hídrico y de los procesos fisiológicos

El comportamiento hídrico y fisiológico de las plantas fue estudiado en diversas fases a lo largo del ciclo vegetativo, en los distintos tratamientos experimentales. Para ello, se utilizaron hojas adultas de pámpano principal, no senescentes y sanas, posicionadas en la parte externa de la vegetación, garantizando así la realización de las medidas sobre hojas con plena capacidad fotosintética. Así mismo, estas medidas se llevaron a cabo en días totalmente despejados, para que la radiación solar no fuese un factor limitante de la actividad fotosintética de la planta y la amplitud temporal de las mismas no superó los 60 minutos de duración para el conjunto de los tratamientos experimentales.

5.2.1 Potencial hídrico

El estado hídrico de las plantas seleccionadas dentro de las filas control de cada unidad experimental, se estimó periódicamente a través de diversas medidas de potencial hídrico en varios momentos del día. Las mediciones se realizaron mediante cámara de presión de tipo Scholander (Scholander et al., 1965) marca SoilMoisture Corp, en un mínimo de dos cepas (mínimo 1 hoja por cepa) por cada unidad experimental. El flujo de gas de la cámara se calibró para alcanzar la presión de 1 MPa a los 30 segundos de la apertura de la válvula de alimentación. Las hojas empleadas en la medida fueron embolsadas justo antes de ser separadas del tallo, para posteriormente ser introducidas en la cámara y realizar la medición sin superar el minuto en cualquier caso.

Las medidas de potencial hídrico se nombran empleando la hora solar a la que fueron realizadas. Para diferenciar las medidas de potencial hídrico foliar medido a la sombra, se añadirá el subíndice “s”, junto a la hora de medida. En el caso de las medidas de potencial hídrico de xilema respecto de las medidas de potencial hídrico foliar, se añadirá el subíndice “x”.

La medida de potencial de base se realizó de madrugada en completa oscuridad, por lo que la planta dispuso de toda la noche para alcanzar el equilibrio hídrico con el suelo.

La medida de potencial hídrico de xilema se llevó a cabo cubriendo las hojas mediante bolsas opacas de aluminio una hora antes del momento de medida, evitando de esta forma la llegada de luz solar a la hoja y el aumento de temperatura en el interior de la misma.

La medida de potencial hídrico de sombra se efectuó en las horas iniciales del día, a partir de las 9 am (7 hora solar; hs), en hojas situadas en la cara de la espaldera no iluminada directamente por la luz solar (cara oeste).

Se efectuaron las medidas de potencial hídrico siguientes:

- Potencial hídrico foliar medido antes del amanecer (Ψ_{aa}).

El potencial hídrico antes del amanecer (Ψ_{aa}) muestra el balance hídrico de la planta con el suelo (Choné et al., 2001). Dicha medida se realiza en un momento en que la planta tiene los estomas cerrados y su estado hídrico se ha equilibrado con el del suelo (Richter, 1997), debido a que se ha rehidratado durante la noche. Por ello, esta medida también es denominada potencial hídrico de base y se considera un buen indicador del estado hídrico del suelo.

- Potencial hídrico foliar medido a las 9 am (7 hs) a la sombra (Ψ_{7s}).

El potencial hídrico foliar (Ψ_{7s}) medido a la sombra, como indica su nombre, estima el estado hídrico de la hoja en la parte sombreada de la espaldera, en las primeras horas del día, tras la salida del sol. Su medida se realiza en una hoja adulta no senescente de pámpano principal no expuesta directamente a la radiación solar. La medida se realiza en un momento en que la planta inicia la apertura de estomas y aun su estado hídrico responde favorablemente con el del suelo.

- Potencial hídrico foliar medido a la 1 pm (11 hs) (Ψ_{11}).

El potencial hídrico foliar (Ψ_{11}), como indica su nombre, estima el estado hídrico de la hoja. Su medida se realiza en una hoja adulta no senescente de

pámpano principal totalmente expuesta a la radiación solar. Esta medida es la respuesta de la hoja a una combinación de factores que modifican la demanda hídrica individual a nivel foliar y su valor está en función de las condiciones ambientales imperantes.

- Potencial hídrico de xilema medido a las 2 pm (12 hs) (Ψ_x).

Esta medida determina el estado hídrico de la planta empleando hojas adultas no senescentes de pámpano principal, pero que previamente han sido tapadas con bolsas opacas a la luz. Se puede considerar un indicador sensible a la capacidad global de la planta para conducir el agua del suelo a la atmósfera (Choné et al., 2001). Las hojas son resguardadas de la luz antes de la medida durante suficiente tiempo, al menos una hora, para promover el cierre estomático en ellas. Así se bloquea el proceso de transpiración en la hoja y, por tanto, el potencial hídrico que soporte será debido únicamente al potencial hídrico de xilema del tallo correspondiente (McCutchan y Shackel, 1992, en Jones, 2004).

Para interpretar el estado hídrico de las plantas en función de los valores de potencial hídrico medidos se ha empleado la siguiente tabla:

Tabla 10. Valores de potencial hídrico (MPa) antes del amanecer (Ψ_{aa}), potencial hídrico foliar a las 11 hs (Ψ_{11}), potencial hídrico foliar de xilema a las 12 hs (Ψ_x), respecto a los umbrales de déficit hídrico de la vid (Van Leeuwen et al., 2009). Valores de potencial hídrico (MPa) foliar a las 7 hs medido a la sombra (Ψ_{7s}), respecto a los umbrales de déficit hídrico de la vid umbrales obtenidos a partir de este mismo trabajo.

Déficit hídrico	Ψ_{aa}	Ψ_{7s}	Ψ_{11}	Ψ_x
Ausencia	> -0,2	> -0,4	> -0,9	> -0,6
Leve	de -0,2 a -0,3	de -0,4 a -0,6	de -0,9 a -1,1	de -0,6 a -0,9
De leve a moderado	de -0,3 a -0,5	de -0,6 a -0,8	de -1,1 a -1,3	de -0,9 a -1,1
De moderado a severo	de -0,5 a -0,8	de -0,8 a -1,0	de -1,3 a -1,4	de -1,1 a -1,4
Severo	< -0,8	< -1,0	< -1,4	< -1,4

Al evaluar el estado hídrico a través de la medida de potencial hídrico debe considerarse que los valores indican umbrales medios que pueden variar entre parcelas dependiendo de la distribución radicular, el vigor y el rendimiento de las plantas (Van Leeuwen et al., 2009).

6 ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

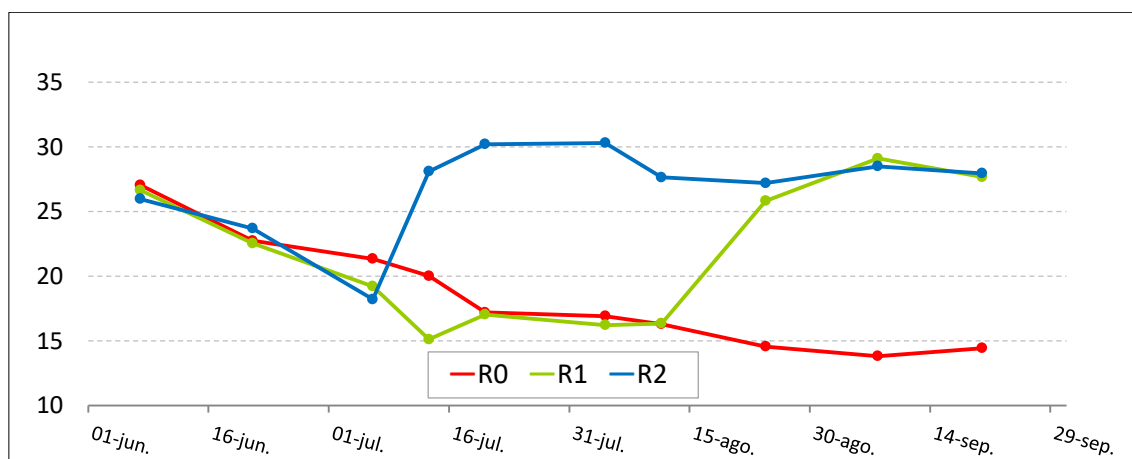
El análisis estadístico de los resultados se ha realizado mediante análisis de varianza (ANOVA), con el programa SPSS 16.0.

Los niveles de significación estadística han correspondido a: no significativo (n.s.), $p\text{-valor} < 10\%$ (*) y $p\text{-valor} < 5\%$ (**). Cuando surgieron diferencias estadísticamente significativas en dicho modelo, los grupos se discriminaron empleando el test de Duncan de separación de medias.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2016

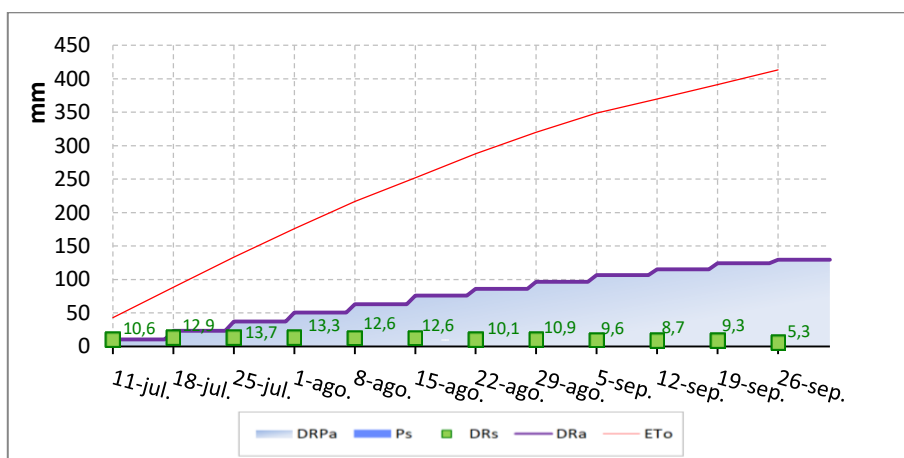
La campaña se caracterizó por la ausencia de precipitaciones estivales. El total de la precipitación caída se repartió de forma regular a lo largo de las anteriores estaciones (Tabla 1). Ello generó un descenso acusado de las reservas hídricas en el perfil del suelo durante los meses de verano, solo mitigado por el comienzo del programa de riego aplicado a los tratamientos R1 y R2 (Gráfica 4).



Gráfica 4. Evolución del **contenido de humedad en el suelo (%)**, obtenidos a lo largo del año vitícola **2016** (octubre 2015 - septiembre 2016, en los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

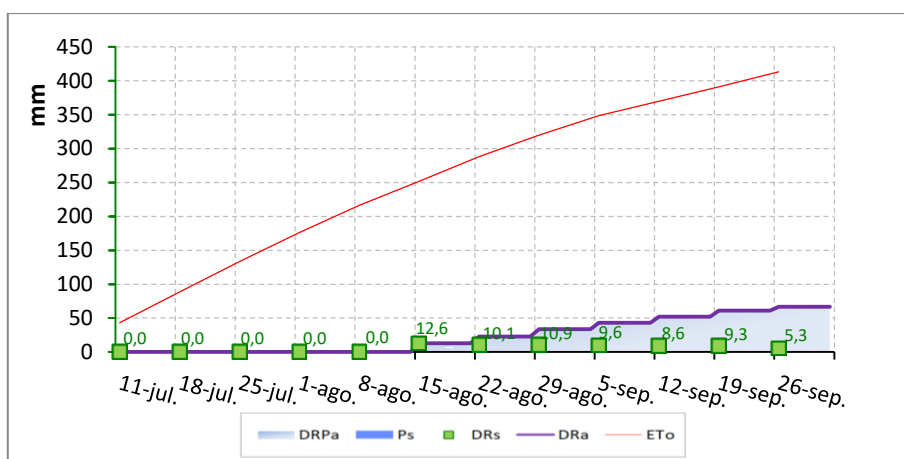
El aporte hídrico realizado a través de riego deficitario (30% de ETo) se inició el 11 de julio en el tratamiento R2, coincidiendo con el estado fenológico tamaño guisante de la baya, determinado visualmente, continuándose la aplicación del agua de riego hasta completar la fase de maduración del racimo. La dosis de

riego semanal se calculó con periodicidad semanal a partir de los valores de ETo diarios acumulados. El riego total aportado durante este periodo fue de 136 mm (Gráfica 2).



Gráfica 5. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenido durante **2016** para **R2**.

En el caso del tratamiento R1, el riego se inició el 15 de agosto, coincidiendo con el inicio del envero, continuando hasta el final de la maduración del racimo. El riego total aportado durante este periodo fue de 73 mm (Gráfica 3).



Gráfica 6. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenido durante **2016** para **R1**.

Las medidas de potencial hídrico (Ψ_7s y Ψ_x) se iniciaron el 21 de junio, coincidiendo con el estado de cuajado de la baya. De esta forma, se pudo

evaluar el estado hídrico de las cepas antes del inicio del programa de riego en los tratamientos R1 y R2.

Tabla 11. Tabla resumen de **valores medios** del Ψ_{aa} , (MPa), Ψ_{7s} , (MPa), Ψ_{11} , (MPa), Ψ_x , (MPa), en **2016**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2016		21-jun.	6-jul.	13-jul.	20-jul.	4-ago.	11-ago.	24-ago.	7-sep.	20-sep.	5-oct.
Ψ_{aa}	R0				-0,30			-1,02 c		-0,99 b	
	R1				-0,28			-0,66 b		-0,44 ab	
	R2				-0,28			-0,48 a		-0,38 a	
	P-valor				0,926			0,000		0,001	
	Sig.				ns			**		**	
Ψ_{7s}	R0	-0,43	-0,43	-0,52	-0,58	-0,98 b	-0,79 b	-1,25 b	-1,23 b	-1,06 b	-1,01 b
	R1	-0,40	-0,39	-0,47	-0,49	-0,89 ab	-0,82 b	-0,90 a	-0,69 a	-0,53 a	-0,56 a
	R2	-0,42	-0,41	-0,50	-0,53	-0,73 a	-0,56 a	-0,73 a	-0,59 a	-0,45 a	-0,49 a
	P-valor	0,782	0,717	0,784	0,410	0,028	0,049	0,002	0,000	0,000	0,000
	Sig.	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**
Ψ_{11}	R0				-1,24		-1,36 b	-1,48 b			
	R1				-1,19		-1,23 b	-1,40 ab			
	R2				-1,19		-1,04 a	-1,33 a			
	P-valor				0,671		0,021	0,031			
	Sig.				ns		**	**			
Ψ_x	R0	-0,46	-0,61	-0,60	-0,80	-0,98	-1,05 b	-1,22 b	-1,47 b	-1,54 b	-1,64 b
	R1	-0,48	-0,51	-0,51	-0,80	-0,92	-0,91 ab	-1,09 a	-1,20 a	-1,05 a	-1,17 a
	R2	-0,50	-0,58	-0,57	-0,81	-0,83	-0,84 a	-0,99 a	-1,11 a	-1,00 a	-1,11 a
	P-valor	0,476	0,303	0,391	0,967	0,144	0,023	0,004	0,011	0,001	0,003
	Sig.	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**

7.1.1 Potencial hídrico antes del amanecer del 2016

El Ψ_{aa} fue medido con periodicidad mensual en tres momentos del ciclo, coincidiendo con los estados de cierre de racimo, envero y mitad de la fase de maduración de la baya.

Los valores de Ψ_{aa} respondieron positivamente al aporte hídrico, en función del momento de aplicación del riego en cada tratamiento. Sin embargo, en la primera fecha de medida, 20 de julio, con un valor Ψ_{aa} prácticamente igual en los tres tratamientos y una situación leve de estrés hídrico, el tratamiento R2 todavía no reflejaba la aplicación del riego, iniciado diez días antes (tamaño guisante de la baya), debido seguramente al exiguo nivel de humedad presente en los 60 primeros centímetros del perfil del suelo (Gráfica 1).

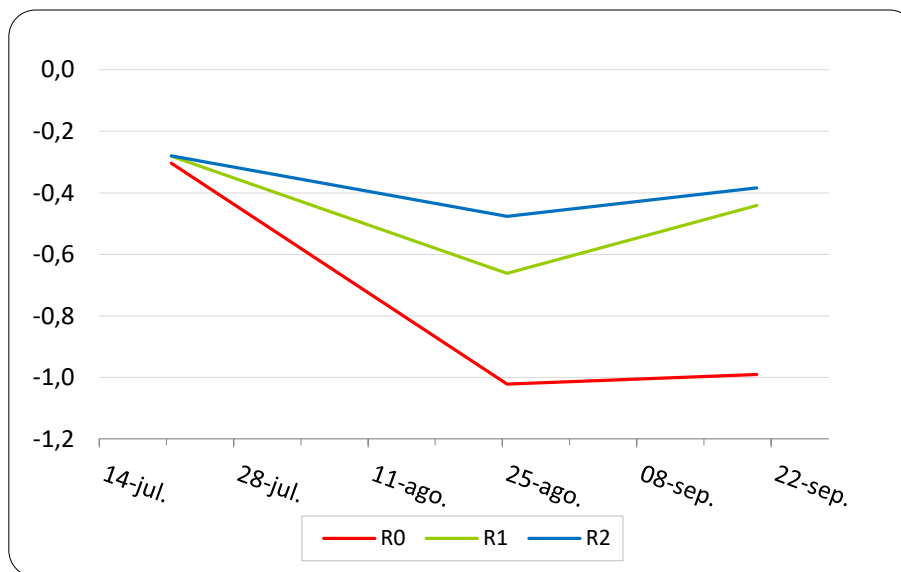
Tabla 12. **Valor medio** del Ψ_{aa} , (MPa), en **2016**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2016	20-jul.	24-ago.	20-sep.
------	---------	---------	---------

R0	-0,30	-1,02	c	-0,99	b
R1	-0,28	-0,66	b	-0,44	a
R2	-0,28	-0,48	a	-0,38	a
P-valor	0,926	0,000	0,001		
Sig.	ns	**	**		

La medida del Ψ_{aa} en la segunda fecha de medida, 24 de agosto, mostró una evolución decreciente del potencial en todos los tratamientos, aunque mucho más amortiguada en el caso del R2, registrando éste un nivel de estrés hídrico moderado. Los valores de Ψ_{aa} en el tratamiento R1 se situaron en una posición intermedia, debido seguramente al riego iniciado en dicho tratamiento el 15 de agosto, mostrando un nivel de estrés hídrico moderadamente severo, al inicio del envero. Las cepas del tratamiento de secano (R0) reflejaron un nivel de estrés hídrico severo (-1,02 MPa), en esta fecha de medida, manteniéndose esta situación hasta vendimia.

Desde la última medida del mes de agosto hasta la última medida de la campaña (20 de septiembre), una semana antes de la madurez tecnológica en R0 y dos semanas antes de la de R1 y R2, la tendencia del Ψ_{aa} en los tratamientos regados fue creciente, recuperándose más rápidamente en el R1, el cual llegó a situarse al final del ciclo en valores de potencial hídrico cercanos a los mostrados por el tratamiento R2. En ese momento, las cepas de ambos tratamientos regados presentaban un nivel levemente moderado de estrés hídrico.



Gráfica 7. Evolución del Ψ_{aa} (MPa) en 2016, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

El Ψ_{aa} mostró diferencias estadísticamente significativas tanto en la segunda fecha de medida, segregando los tres niveles de régimen hídrico, como en la última fecha, discriminando los tratamientos regados (R2 y R1) del seco (R0).

7.1.2 Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2016

El Ψ_{7s} fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo, comenzando las medidas en fase de cuajado de la baya y continuándolas hasta los días previos a la vendimia (Tabla 8).

Como se puede observar en la Gráfica 5, las oscilaciones en la evolución de los valores de Ψ_{7s} de los distintos tratamientos pudieron reflejar ciertas condiciones atmosféricas de carácter térmico variables que tuvieron lugar durante los meses de verano de 2016, registrándose valores de temperaturas máximas algo más elevadas de lo habitual (Gráfica 1).

Tabla 13. Valor medio del Ψ_{7s} , (MPa), en 2016, de los tratamientos R0, R1 y R2. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

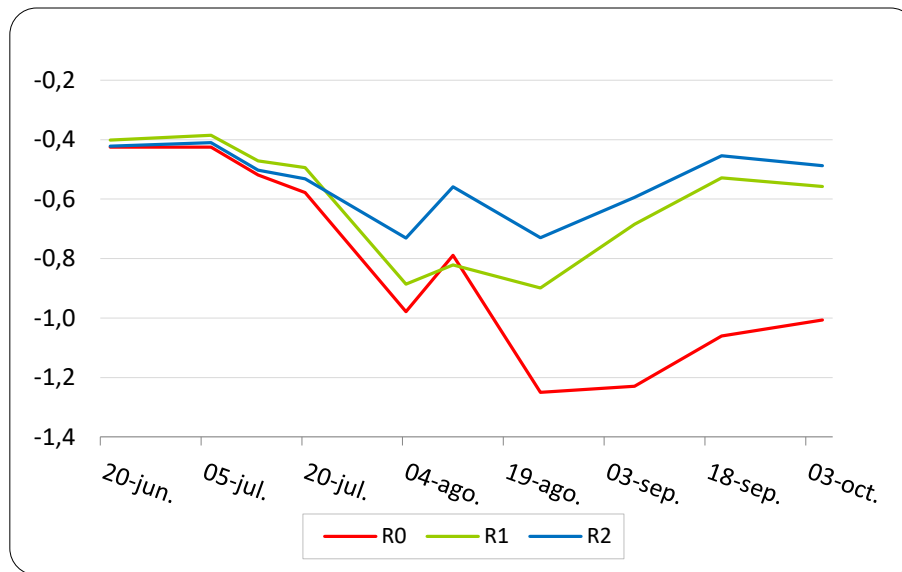
2016	21-jun.	6-jul.	13-jul.	20-jul.	4-ago.	11-ago.	24-ago.	7-sep.	20-sep.	5-oct.						
R0	-0,43	-0,43	-0,52	-0,58	-0,98	<i>b</i>	-0,79	<i>b</i>	-1,25	<i>b</i>	-1,23	<i>b</i>	-1,06	<i>b</i>	-1,01	<i>b</i>
R1	-0,40	-0,39	-0,47	-0,49	-0,89	<i>ab</i>	-0,82	<i>b</i>	-0,90	<i>a</i>	-0,69	<i>a</i>	-0,53	<i>a</i>	-0,56	<i>a</i>
R2	-0,42	-0,41	-0,50	-0,53	-0,73	<i>a</i>	-0,56	<i>a</i>	-0,73	<i>a</i>	-0,59	<i>a</i>	-0,45	<i>a</i>	-0,49	<i>a</i>

P-valor	0,782	0,717	0,784	0,410	0,028	0,049	0,002	0,000	0,000	0,000
Sig.	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**

Los valores de Ψ_7s obtenidos en los tres regímenes hídricos, desde el inicio de las medidas hasta el 20 de julio, no reflejaron diferencias de estrés hídrico en las cepas. A partir de esta fecha y hasta la siguiente medida, realizada el 4 de agosto, el nivel de estrés hídrico en el tratamiento R2 se mantuvo con una tendencia de potencial creciente, a pesar de haberse iniciado el riego (11 de julio). Sin embargo, este aumento de potencial en el R2 fue más moderado que en los tratamientos no regados (R1 y R0), manteniendo estos últimos una tendencia similar, aunque con valores de Ψ_7s algo menos negativos en el caso de R1. La medida realizada el 11 de agosto, siguió reflejando un estado hídrico mucho más favorable en el tratamiento regado R2, que en los no regados.

Tras el inicio del riego en el tratamiento R1 (15 de agosto) se produjo una mejora en el estado hídrico de las plantas de dicho tratamiento, al moderarse la tendencia decreciente de los valores de Ψ_7s en R1. A partir de la medida del 24 de agosto y hasta final del ciclo, esta tendencia se invierte, incrementándose progresivamente el valor del Ψ_7s hasta situarse en un nivel de estrés hídrico leve antes de la fecha de vendimia, y manteniéndose en valores de Ψ_7s muy próximos al R2, con una situación hídrica más favorable.

Desde el inicio de las medidas, el tratamiento en seco (R0) manifestó en general una evolución decreciente en su potencial hídrico, llegando a mostrar a finales de agosto un nivel de estrés hídrico severo, obteniéndose valores de Ψ_7s por debajo de -1,20 MPa. A partir de la segunda semana de septiembre y hasta vendimia, debido seguramente a una mejora en las temperaturas (Gráfica 1), se incrementó progresivamente el valor de Ψ_7s hasta situarse en un nivel de estrés hídrico moderadamente severo.



Gráfica 8. Evolución del Ψ_{7s} (MPa) en 2016, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

Los valores de Ψ_{7s} mostraron diferencias estadísticamente significativas a partir de la primera semana de agosto. En la medida realizada el 4 de agosto, los valores de Ψ_{7s} discriminaron el tratamiento R2 del tratamiento R0, manteniéndose el R1 una posición intermedia. En la siguiente medida (11 de agosto), los resultados estadísticos mostraron ya una clara discriminación entre el tratamiento regado (R2) y los no regados (R0 y R1). En fechas siguientes, donde el aporte de agua de riego ya afectaba a los tratamientos R2 y R1, las diferencias fueron estadísticamente significativas discriminándose los tratamientos regados (R1 y R2) del no regado (R0).

7.1.3 Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2016

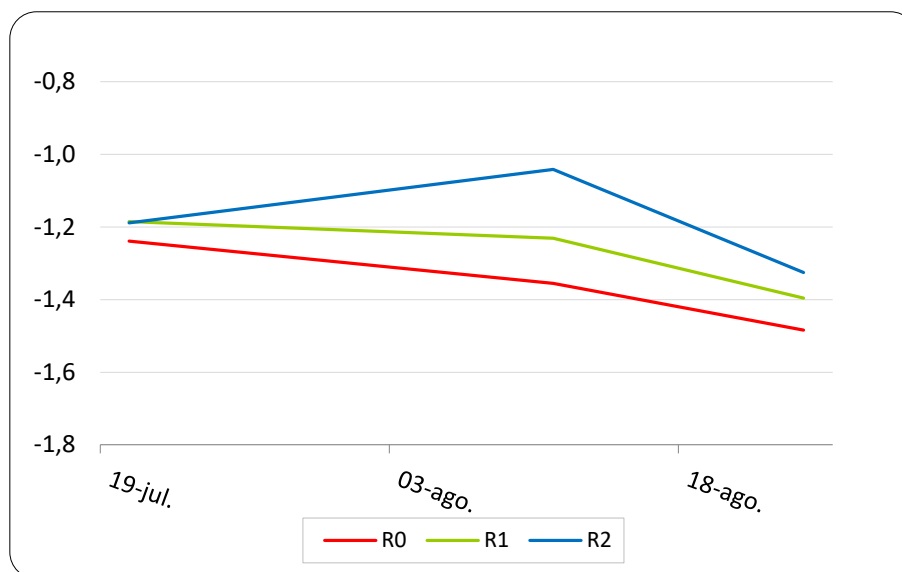
El Ψ_{11} fue medido con periodicidad quincenal o mensual a lo largo del ciclo. Se comenzaron las medidas una semana antes de alcanzar la fase fenológica de compactación del racimo, prolongándose las medidas hasta el estado de envero.

Tabla 14. **Valor medio** del Ψ_{11} , (MPa), en 2016, de los tratamientos R0, R1 y R2. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2016	20-jul.	11-ago.	24-ago.
R0	-1,24	-1,36 b	-1,48 b
R1	-1,19	-1,23 b	-1,40 ab
R2	-1,19	-1,04 a	-1,33 a

P-valor	0,671	0,021	0,031
Sig.	ns	**	**

El Ψ_{11} obtenido en la primera medida (20 de julio), fue similar en los tres tratamientos de régimen hídrico, los cuales, presentaban un nivel levemente moderado de déficit hídrico, aunque ligeramente más favorable en los tratamientos R1 y R2. A partir de esta fecha y hasta la siguiente medida del 11 de agosto, la evolución del Ψ_{11} , en el caso del tratamiento regado (R2), fue creciente hasta situarse en -1,04 MPa, presentando un nivel de estrés leve. Sin embargo, a partir de esta situación y hasta la última fecha de medida (24 de agosto), la evolución del potencial del tratamiento R2 fue decreciente, mostrando al final de las mediciones un nivel de estrés moderado. Por otro lado, a lo largo de este periodo de medidas, los tratamientos R1 y R0, siguieron una tendencia decreciente. El tratamiento R0 presentó los Ψ_{11} más bajos, mientras que el R1 se situó en una posición intermedia. El nivel de estrés hídrico mostrado en estos dos tratamientos (R0 y R1), al final de las medidas, fue severo y moderadamente severo respectivamente.



Gráfica 9. Evolución del Ψ_{11} (MPa) en 2016, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

El Ψ_{11} mostró diferencias estadísticamente significativas en la segunda y tercera fecha de medida, segregando en la primera de ellas los tratamientos R1 y R2, de R0, y en la segunda medida R2 y R0.

7.1.4 Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2016

El Ψ_x fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo, comenzando las medidas en fase de cuajado de la baya y continuándolas hasta los días previos a la vendimia (Tabla 8).

En el periodo comprendido entre el inicio de las medidas, el 21 de junio, y la medida del 13 de julio, el Ψ_x reveló una ausencia de estrés hídrico en los tres tratamientos de régimen hídrico. La evolución del Ψ_x hacia la siguiente medida, el 20 de julio, muestra un decrecimiento en los tres tratamientos, obteniéndose el valor de -0,8 MPa en todos ellos, manifestando así un nivel leve de estrés hídrico. Cabe destacar que aun iniciado el riego de R2 el 11 de julio, las cepas no mostraron una mejora en su estado hídrico, a pesar de aumentar el porcentaje de agua a lo largo de las 60 primeros centímetros en el perfil del suelo, como lo demuestran las medidas realizadas con TDR (Gráfica 4).

Tabla 15. **Valor medio** del Ψ_x , (MPa), en **2016**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

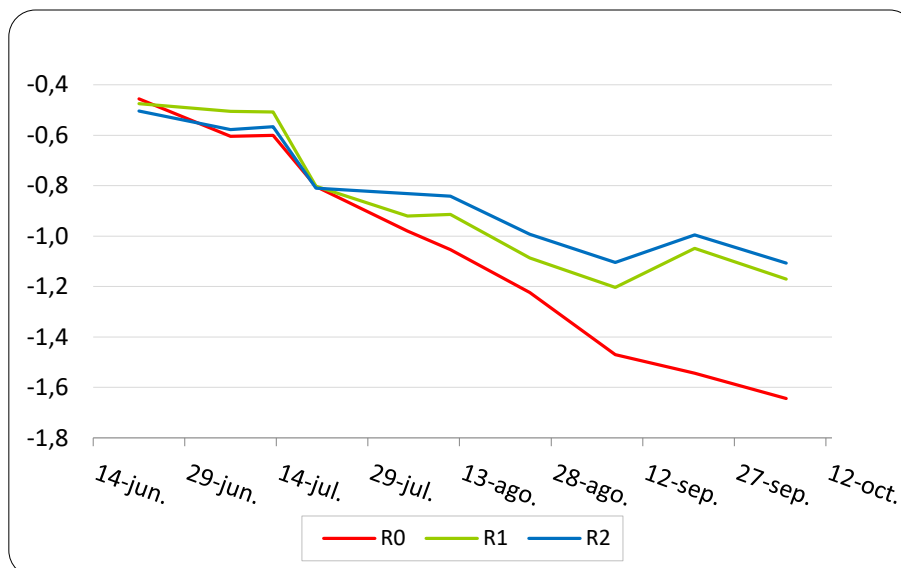
	21-jun.	6-jul.	13-jul.	20-jul.	4-ago.	11-ago.	24-ago.	7-sep.	20-sep.	5-oct.
R0	-0,46	-0,61	-0,60	-0,80	-0,98	-1,05 <i>b</i>	-1,22 <i>b</i>	-1,47 <i>b</i>	-1,54 <i>b</i>	-1,64 <i>b</i>
R1	-0,48	-0,51	-0,51	-0,80	-0,92	-0,91 <i>ab</i>	-1,09 <i>a</i>	-1,20 <i>a</i>	-1,05 <i>a</i>	-1,17 <i>a</i>
R2	-0,50	-0,58	-0,57	-0,81	-0,83	-0,84 <i>a</i>	-0,99 <i>a</i>	-1,11 <i>a</i>	-1,00 <i>a</i>	-1,11 <i>a</i>
P-valor	0,476	0,303	0,391	0,967	0,144	0,023	0,004	0,011	0,001	0,003
Sig.	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**	**

Sin embargo, la tendencia anterior cambió a lo largo de la primera quincena de agosto. El tratamiento R2 sólo presentó un leve decrecimiento en el Ψ_x , de manteniéndose estable en valores cercanos a -0,8 MPa. Por otro lado, en la medida realizada el 11 de agosto, los valores de Ψ_x en R0 disminuyeron en mayor medida que los de R1, situándose en un nivel de estrés moderado. El tratamiento R1, con ligeras oscilaciones de Ψ_x , se situó en una posición intermedia entre R2 y R0.

En el siguiente intervalo, que abarca hasta la primera semana de septiembre (medida realizada el 7 de septiembre), se produjo una disminución de los valores de Ψ_x en los tres tratamientos. El riego aplicado a los tratamientos R1 y

R2 no logró cubrir la demanda evapotranspirativa generada por las plantas, a pesar de mostrar durante esas mismas fechas valores aceptables de humedad en los primeros 60 cm del perfil del suelo (Gráfica 4). Esto pudo ser debido a las altas temperaturas registradas en este periodo estival (Gráfica 1). Debido a ello, los valores de Ψ_x del tratamiento R2 reflejaron niveles moderados de estrés hídrico en las cepas, mientras que el tratamiento R1 se situó en un nivel de estrés hídrico moderadamente severo, presentando un valor de potencial hídrico algo inferior al R2. Por otro lado, el tratamiento R0 continuó decreciendo, obteniéndose valores de Ψ_x cada vez más bajos, situándose al final de este periodo en un nivel de estrés hídrico severo.

En las dos últimas medidas realizadas, el 20 de septiembre y el 5 de octubre, los tratamientos R1 y R2 mostraron una evolución similar, aunque el tratamiento R1 se situó en un nivel de estado hídrico algo más negativo que el R2. En la primera fecha de medida, el estado hídrico de ambos tratamientos mostró valores de Ψ_x mayores que la fecha anterior de medida (7 de septiembre), disminuyendo levemente el nivel de estrés hídrico, para a continuación aumentar de nuevo a un nivel de estrés hídrico moderado pocos días antes de la fecha de vendimia, en ambos tratamientos. En este mismo periodo el Ψ_x del tratamiento no regado, R0, continuó decreciendo hasta -1,54 MPa, unos días antes de su vendimia (26 de septiembre), presentando un nivel severo de estrés hídrico, el cual siguió aumentando hasta la última fecha de medida (5 de octubre).



Gráfica 10. Evolución del Ψ_x (MPa) en 2016, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

Los valores de Ψ_x mostraron diferencias estadísticamente significativas a partir de la medida del 11 de agosto. En dicha medida, los valores de Ψ_x discriminaron el tratamiento R2, del tratamiento R0, manteniéndose el R1 una posición intermedia. Sin embargo, en las siguientes medidas, hasta finalizar el ciclo, los resultados estadísticos segregaron los tratamientos regados (R1 y R2) del no regado (R0).

7.1.5 Potencial hídrico del 2016

El Ψ_{7s} en 2016 mostró valores significativamente menos negativos en el tratamiento regado (R2) que en los no regados (R0 y R1) hasta el inicio del envero, con dos semanas de retraso respecto a la fecha de inicio del riego el 11 de julio. Además, el Ψ_x aun midiéndose en las mismas fechas que el Ψ_{7s} , no mostró diferencias significativas entre el tratamiento R2 y los tratamientos R0 y R1 hasta la cuarta semana después del inicio del riego en R2. El Ψ_{11} aunque tampoco mostró diferencias significativas en la primera semana después del inicio del riego, el análisis estadístico sí que discriminó el tratamiento regado de los no regados en la siguiente medida realizada en la tercera semana. Sin embargo, el retraso en el reflejo del aporte de agua en R2 en las medidas de potencial, no pudo deberse a una falta de humedad en los primeros 60 cm del perfil del suelo, ya que las medidas realizadas con TDR sí

que mostraron una recarga rápida de agua en el perfil tras el inicio del riego en R2, manteniéndose ésta en niveles adecuados hasta el final del ciclo.

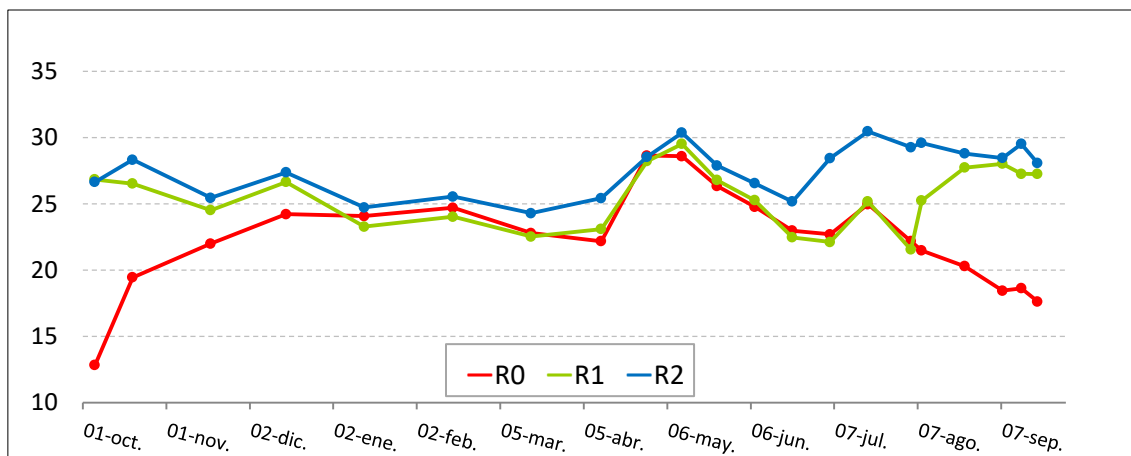
Hasta el inicio del envero, el tratamiento R2 se mantuvo en un nivel de déficit hídrico leve para todas las horas de medidas de potencial. Por el contrario, los tratamientos R0 y R1 fueron aumentando progresivamente su nivel de estrés hídrico, hasta situarse al inicio del envero, en un nivel moderado para los valores de potencial de Ψ_{7s} y Ψ_{11} , y levemente moderado en el caso de Ψ_x . Esto pudo ser consecuencia de un nivel muy bajo de humedad en el perfil del suelo (Grafica 4) causado por la falta de agua de riego y de precipitaciones.

A partir del inicio de la aplicación de riego en el tratamiento R1, el 16 de agosto, el análisis estadístico de las diversas medidas de potencial hídrico mostraron diferencias significativas en todas las horas de medida entre los tratamientos regados (R2 y R1) y el seco (R0), con valores algo menos negativos en el tratamiento R2 que en el R1. El tratamiento más regado (R2), hacia el final del ciclo, se mantuvo para las medidas de potencial más tempranas (Ψ_{aa} y Ψ_{7s}) en un nivel de estrés hídrico leve, y moderado para el Ψ_x . El tratamiento menos regado (R1), se situó en niveles algo inferiores al R2. Sin embargo, el tratamiento en seco (R0) presentó un nivel de déficit hídrico severo para todas las medidas de potencial.

7.2 Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2017

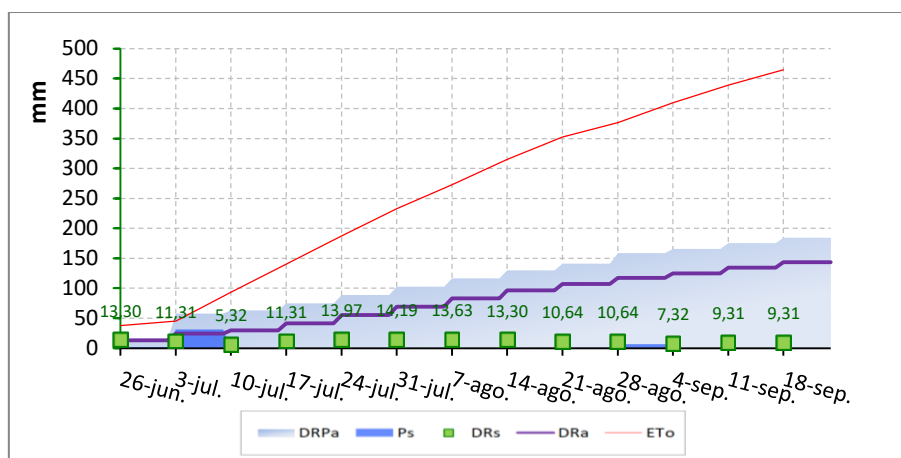
La campaña se caracterizó por las escasas precipitaciones caídas a lo largo de la misma, registrándose un nivel de sequía importante. Las exiguas precipitaciones, 167 mm, se repartieron de forma irregular concentrándose principalmente en los meses del otoño anterior (2016), mayo y julio (Tabla x). La lluvia caída en el mes de mayo, contribuyeron a recargar las mermadas reservas hídricas en los primeros 60 cm del perfil del suelo (Gráfica 7).

A nivel fenológico, es destacable, el prematuro comienzo del desarrollo vegetativo de las cepas, situándose la brotación hacia finales del mes de marzo y la floración a mediados de mayo (Tabla 8), probablemente debido a las suaves temperaturas registradas hacia el final del periodo hibernal e inicio del periodo primaveral (Tabla 2).



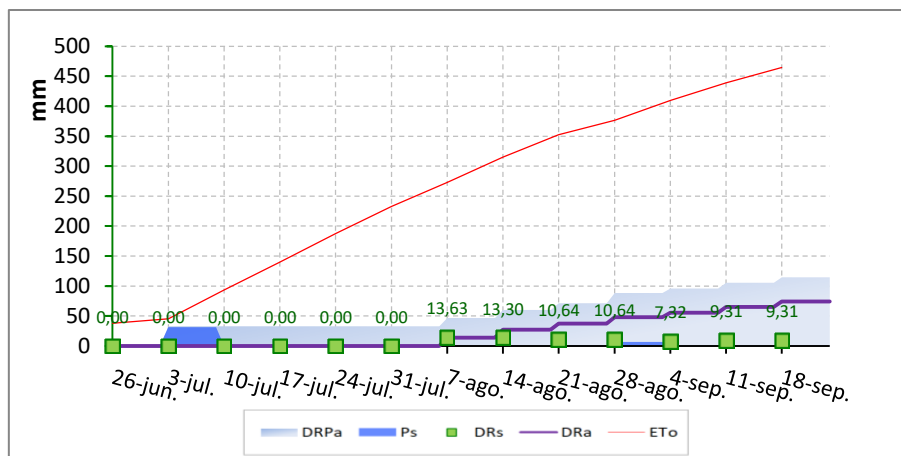
Gráfica 11. Evolución del **contenido de humedad en el suelo (%)**, obtenidos a lo largo del año vitícola **2017** (octubre 2016 - septiembre 2017), en los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El aporte hídrico realizado a través de riego deficitario riego (30% de ETo) se inició el 26 de junio en el tratamiento R2, coincidiendo con el estado fenológico tamaño guisante de la baya, determinando visualmente y, continuándose la aplicación del agua de riego hasta el final de la fase de maduración del racimo. El riego total aportado durante este periodo fue de 144 mm (Gráfica 8).



Gráfica 12. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenidos durante **2017** para **R2**.

En el caso del tratamiento R1, el riego se inició el 7 de agosto, coincidiendo con el inicio del envero y, continuando el mismo hasta el final de la maduración del racimo. El riego total aportado durante este periodo fue de 74 mm (Gráfica 9).



Gráfica 13. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenido durante **2017** para **R1**.

Las medidas de potencial hídrico se iniciaron el 7 de junio, con medidas de Ψ_x y, coincidiendo con el estado fenológico de cuajado avanzado de la baya. De esta forma, se pudo evaluar el estado hídrico de las cepas antes del inicio del programa de riego en R1 y R2.

Tabla 16. Tabla resumen de **valores medios** del Ψ_{aa} , (MPa), Ψ_{7s} , (MPa), Ψ_{11} , (MPa), Ψ_x , (MPa), en **2017**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2017		7-jun.	21-jun.	5-jul.	19-jul.	26-jul.	4-ago.	8-ago.	24-ago.	14-sep.							
Ψ _{aa}	R0	-0,76 <i>b</i>															
	R1									-0,54 <i>a</i>							
	R2																
	P-valor	0,001															
Sig.	**																
Ψ _{7s}	R0	-0,88 <i>b</i>		-0,56		-0,86 <i>b</i>		-0,87 <i>b</i>		-1,14 <i>b</i>	-0,90 <i>b</i>						
	R1	-0,84 <i>ab</i>		-0,56		-0,82 <i>b</i>		-0,70 <i>a</i>		-0,87 <i>a</i>	-0,58 <i>a</i>						
	R2	-0,69 <i>a</i>		-0,48		-0,61 <i>a</i>		-0,58 <i>a</i>		-0,82 <i>a</i>	-0,61 <i>a</i>						
	P-valor	0,046		0,535		0,076		0,004		0,033	0,009						
Sig.	**		ns		*		**		**	**							
Ψ ₁₁	R0	-1,19					-1,50 <i>b</i>		-1,74 <i>b</i>	-1,59 <i>b</i>							
	R1						-1,07		-1,52 <i>a</i>	-1,19 <i>a</i>							
	R2						-1,06		-1,15 <i>a</i>	-1,49 <i>a</i>	-1,20 <i>a</i>						
	P-valor	0,259					0,002		0,007	0,006							
Sig.	ns					**		**	**								
Ψ _x	R0	-0,46	-0,87	-0,91	-1,00	-0,97 <i>b</i>		-1,33 <i>b</i>	-1,53 <i>b</i>	-1,35 <i>b</i>							
	R1	-0,50	-0,87	-0,80	-0,92	-0,89 <i>ab</i>		-1,03 <i>a</i>	-1,31 <i>a</i>	-0,89 <i>a</i>							
	R2	-0,52	-0,83	-0,81	-0,85	-0,77 <i>a</i>		-0,85 <i>a</i>	-1,21 <i>a</i>	-0,96 <i>a</i>							
	P-valor	0,768	0,690	0,183	0,227	0,015		0,008	0,004	0,005							
Sig.	ns	ns	ns	ns	**		**	**	**								

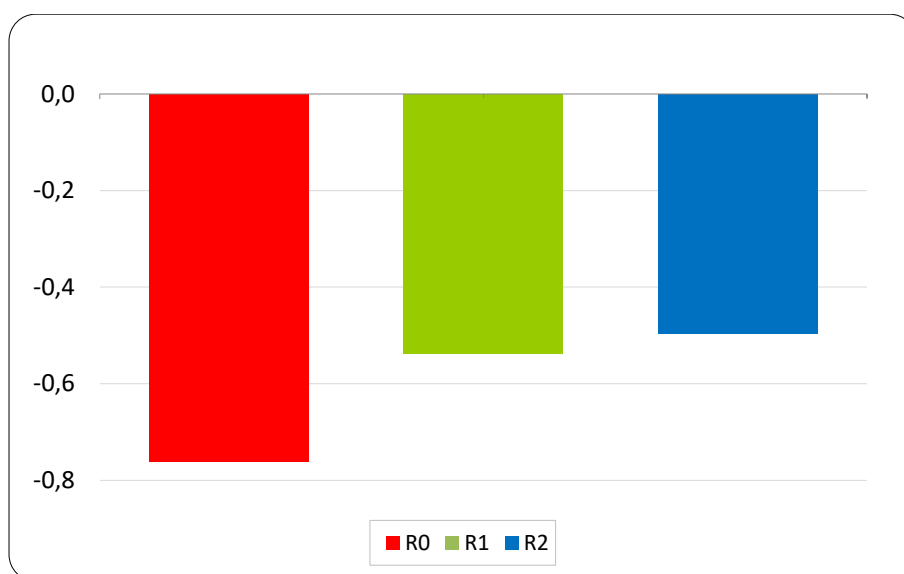
7.2.1 Potencial hídrico antes del amanecer del 2017

El Ψ_{aa} fue medido una sola vez (24 de agosto) a lo largo del ciclo, coincidiendo con el final de la madurez de la baya, una semana antes de la vendimia.

Tabla 17. **Valor medio** del Ψ_{aa} , (MPa), en **2017**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2017	24-ago.
R0	-0,76 b
R1	-0,54 a
R2	-0,50 a
P-valor	0,001
Sig.	**

La medida de Ψ_{aa} realizada en esa fecha mostró un estado hídrico más favorable en los tratamientos regados (R1 y R2) que, en el caso, del tratamiento no regado (R0), obteniéndose un nivel de estrés hídrico moderado y moderadamente severo, respectivamente.



Gráfica 14. Evolución del Ψ_{aa} (MPa) en **2017**, de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El Ψ_{aa} mostró diferencias estadísticamente significativas, segregando los tratamientos regados (R1 y R2) del seco (R0).

7.2.2 Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2017

El Ψ_7s fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo. Se comenzaron las medidas en fase fenológica de tamaño guisante avanzado, prolongándose hasta dos semanas después de la temprana vendimia del 30 de agosto.

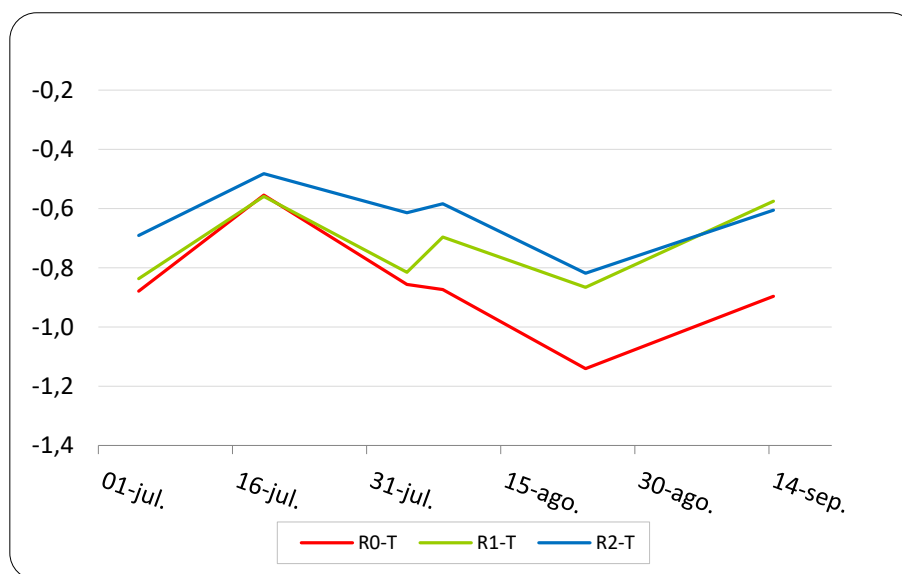
Tabla 18. **Valor medio** del Ψ_7s , (MPa), en **2017**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2017	5-jul.	19-jul.	4-ago.	8-ago.	24-ago.	14-sep.
R0	-0,88 <i>b</i>	-0,56	-0,86 <i>b</i>	-0,87 <i>b</i>	-1,14 <i>b</i>	-0,90 <i>b</i>
R1	-0,84 <i>ab</i>	-0,56	-0,82 <i>b</i>	-0,70 <i>a</i>	-0,87 <i>a</i>	-0,58 <i>a</i>
R2	-0,69 <i>a</i>	-0,48	-0,61 <i>a</i>	-0,58 <i>a</i>	-0,82 <i>a</i>	-0,61 <i>a</i>
P-valor	0,046	0,535	0,076	0,004	0,033	0,009
Sig.	**	ns	*	**	**	**

La primera medida (5 de julio), realizada una semana después del inicio del riego del tratamiento R2, mostró valores de Ψ_7s en R2 más favorables y un mejor estado hídrico de las cepas, que lo observado en los tratamientos no regados (R0 y R1). En la siguiente medida, los valores de Ψ_7s respondieron positivamente a las precipitaciones caídas las primeras semanas de julio, devolviendo a los tres tratamientos a un nivel leve de déficit hídrico, aunque con un potencial más favorable en el caso del tratamiento R2. La medida del Ψ_7s del 4 de agosto mostró una evolución decreciente del potencial en los tres tratamientos, aunque mucho más moderada en el caso de tratamiento R2, registrando éste un nivel leve de estrés hídrico. Por contra, los tratamientos no regados, con un Ψ_7s similar entre ellos (en torno a -0,8 MPa), presentaban un estado hídrico más desfavorable.

En las medidas realizadas el 8 de agosto, se pudo observar como los valores de Ψ_7s respondían positivamente al aporte hídrico realizado en el tratamiento R1, situándose éste en un valor de potencial intermedio entre el tratamiento en secano (R0) que presentaba una evolución decreciente y, el tratamiento R2, el cual, mantenía un Ψ_7s prácticamente constante en una situación de déficit hídrico leve. En la siguiente medida (24 de agosto), una semana antes de vendimia, se registró una disminución de los valores de Ψ_7s en los tres

tratamientos. Los tratamientos R1 y R2 se situaron en un nivel de estado hídrico similar, de carácter moderado, mientras que el seco (R0) con un Ψ_{7s} mucho menor presentaba un nivel de estrés hídrico severo. La última medida realizada (14 de septiembre), ya sin racimos en las cepas, los tres tratamientos mostraron una evolución creciente de su potencial hídrico, debido probablemente a unas condiciones meteorológicas más favorables. Los tratamientos regados (R1 y R2) mostraron valores de potencial muy similares y una situación hídrica favorable.



Gráfica 15. Evolución del Ψ_{7s} (MPa) en 2017, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

El Ψ_{7s} , en la primera fecha de medida, muestra diferencias estadísticamente significativas, segregándose el tratamiento R2, del tratamiento R0, manteniendo R1 una posición intermedia. Sin embargo, el 19 de julio, los tratamientos presentaron un estado hídrico similar, no mostrando diferencias significativas en sus valores de potencial hídrico. El Ψ_{7s} en medida realizada el 4 de agosto, presentó diferencias significativas a un nivel de significación $P < 0,1$, discriminando el tratamiento regado R2, de los no regados, R1 y R0. En fechas siguientes, donde el aporte de agua de riego ya afectaba a los tratamientos R2 y R1, las diferencias fueron estadísticamente significativas discriminándose los tratamientos regados del tratamiento en seco.

7.2.3 Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2017

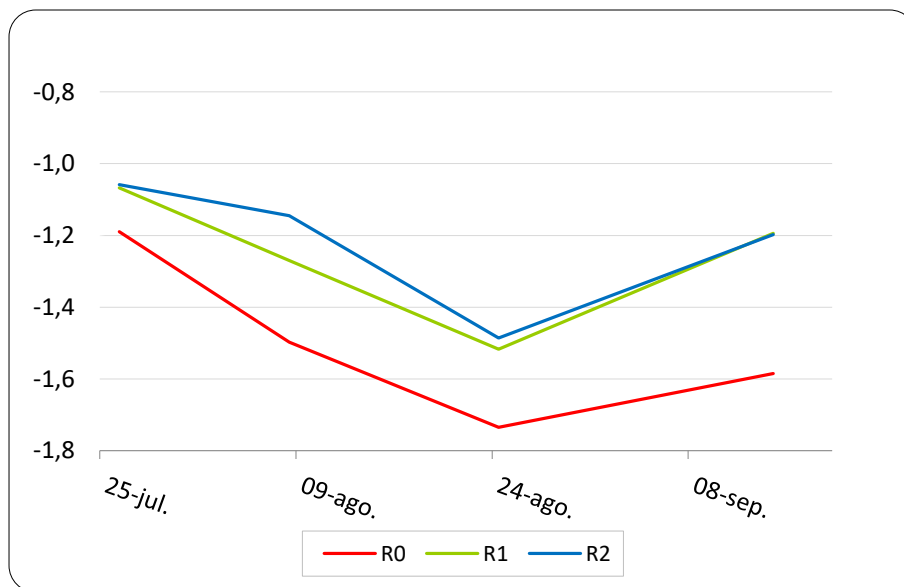
El Ψ_{11} fue medido con periodicidad quincenal o mensual a lo largo del ciclo. Se comenzaron las medidas al inicio del envero y se prolongaron hasta dos semanas antes de la vendimia.

Tabla 19. **Valor medio** del Ψ_{11} , (MPa), en **2017**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2017	26-jul.	8-ago.	24-ago.	14-sep.
R0	-1,19	-1,50 <i>b</i>	-1,74 <i>b</i>	-1,59 <i>b</i>
R1	-1,07	-1,27 <i>a</i>	-1,52 <i>a</i>	-1,19 <i>a</i>
R2	-1,06	-1,15 <i>a</i>	-1,49 <i>a</i>	-1,20 <i>a</i>
P-valor	0,259	0,002	0,007	0,006
Sig.	ns	**	**	**

La evolución del Ψ_{11} desde el inicio de las medidas hasta el 24 de agosto, fue decreciente en todos los tratamientos. Sin embargo, durante este periodo de medidas, los tratamientos R1 y R2 se mantuvieron en valores de potencial más elevados que los mostrados por el tratamiento R0 y, donde el tratamiento R2 mantuvo una situación hídrica particularmente más favorable, en la primera quincena de agosto. Los valores de Ψ_{11} del tratamiento R0 mostraron un descenso progresivo hasta una situación de estrés hídrico muy severo en la medida realizada el 24 de agosto. En esta medida, los tratamientos regados R1 y R2 con un valor similar de Ψ_{11} (en torno a -1,50 MPa), también presentaron un fuerte estrés hídrico de carácter severo.

En la última medida del 14 de septiembre, los valores de Ψ_{11} se incrementaron en los tres tratamientos, especialmente en los tratamientos regados (R1 y R2), los cuales obtuvieron un valor de potencial muy similar, mejorando notablemente su estado hídrico evolucionando a un nivel de estrés hídrico levemente moderado. Sin embargo, aunque el tratamiento en secano también manifestó una evolución positiva del potencial, esta fue más moderada que en el caso de los otros tratamientos, manteniendo un estrés hídrico severo.



Gráfica 16. Evolución del Ψ_{11} (MPa) en 2017, de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El análisis estadístico mostró diferencias estadísticamente significativas a partir de la segunda medida (8 de agosto), discriminando en todas ellas los tratamientos sometidos a riego deficitario (R1 y R2) del tratamiento de secano (R0).

7.2.4 Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2017

El Ψ_x fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo, comenzando las medidas en fase de cuajado de la baya y continuándolas hasta dos semanas después de vendimia.

Tabla 20. **Valor medio** del Ψ_x (MPa), en 2017, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p -valor $<0,1$ (*); $<0,05$ (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

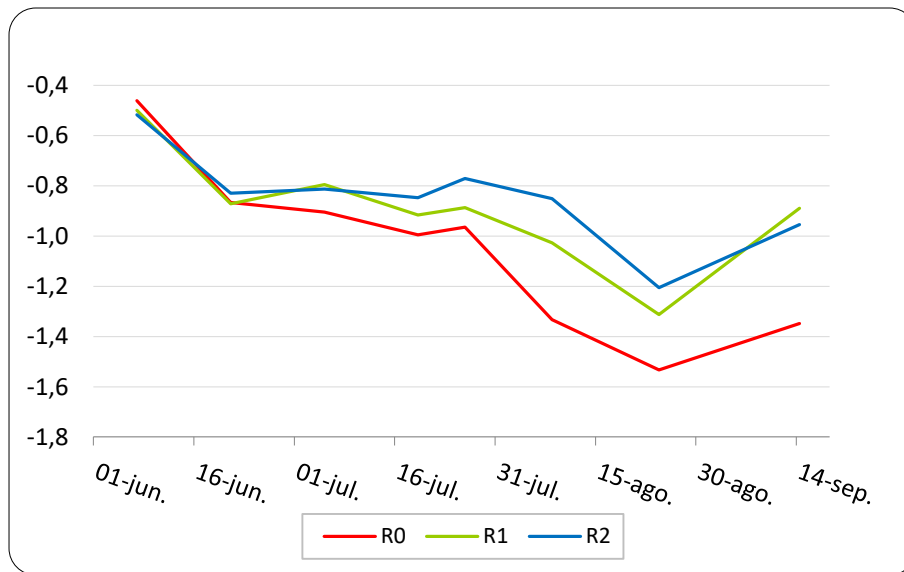
2017	7-jun.	21-jun.	5-jul.	19-jul.	26-jul.	8-ago.	24-ago.	14-sep.				
R0	-0,46	-0,87	-0,91	-1,00	-0,97	<i>b</i>	-1,33	<i>b</i>	-1,53	<i>b</i>	-1,35	<i>b</i>
R1	-0,50	-0,87	-0,80	-0,92	-0,89	<i>ab</i>	-1,03	<i>a</i>	-1,31	<i>a</i>	-0,89	<i>a</i>
R2	-0,52	-0,83	-0,81	-0,85	-0,77	<i>a</i>	-0,85	<i>a</i>	-1,21	<i>a</i>	-0,96	<i>a</i>
P-valor	0,768	0,690	0,183	0,227	0,015	0,008	0,008	0,004	0,005			
Sig.	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**				

El Ψ_x en la primera fecha de medida, fue similar en los tres tratamientos de régimen hídrico, repitiéndose la misma situación en la segunda medida, aunque con Ψ_x menores. La evolución del potencial hídrico fue decreciente entre ambas fechas, presentando un nivel leve de estrés hídrico en todos los

tratamientos. En la medida realizada el 5 de julio, e iniciado el riego del tratamiento R2 una semana antes, el Ψ_x mostró un valor similar a la fecha anterior en los tratamientos R1 y R2, siendo ligeramente más favorable en el caso del R1. Por el contrario, el tratamiento no regado (R0) continuó decreciendo ligeramente, hasta situarse en -1,0 Mpa en la medida del 19 de julio. En esta misma fecha, el tratamiento R2 siguió manteniendo el mismo Ψ_x de las dos medidas anteriores y, situándose el tratamiento R1 en una posición intermedia. Esta situación se mantuvo en la siguiente medida (26 de julio), aunque con un leve aumento en los valores de potencial en los tres tratamientos.

En el siguiente periodo de medida, entre el 26 de julio y el 24 de agosto, y con el riego del tratamiento R1 iniciado en la primera semana de agosto, la evolución del Ψ_x de los tres tratamientos fue decreciente, siendo más acusada en el caso del tratamiento de secano, registrándose en la última medida un valor de potencial de -1,53 Mpa y un nivel de estrés hídrico severo. Sin embargo, el Ψ_x del tratamiento R2, decreció inicialmente de forma más moderada para a continuación intensificarse hasta situarse, al final del este periodo de medida, en un valor de Ψ_x de -1,21 MPa, correspondiéndose a un nivel moderadamente severo de estrés hídrico. El tratamiento R1, a lo largo de estas medidas, siguió una tendencia parecida al R2, aunque manteniéndose en niveles de potencial hídrico inferiores a éste y, presentando un estado hídrico de las cepas algo más desfavorable.

En la última medida realizada el 14 de septiembre, dos semanas después de la vendimia, los tres tratamientos mostraron una evolución creciente de su Ψ_x . Esta situación, pudo deberse probablemente a condiciones meteorológicas más favorables. Los tratamientos regados (R1 y R2) mostraron un valor de potencial muy similar, siendo incluso más favorable en el caso del tratamiento R1. Los tratamientos regados se recuperaron a nivel hídrico mostrando un déficit hídrico leve y, moderadamente severo en el caso del secano.



Gráfica 17. Evolución del Ψ_x (MPa) en 2017, de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

Los valores de Ψ_x muestran diferencias estadísticamente significativas a partir del 26 de julio. En esa misma fecha, el análisis estadístico segrega el tratamiento regado R2 del tratamiento R0, manteniéndose el R1 en un valor intermedio. En las siguientes fechas, se observa una discriminación evidente entre los tratamientos sometidos a riego deficitario, y el tratamiento de seco, R0.

7.2.5 Potencial hídrico del 2017

Las medidas de potencial hídrico en 2017 realizadas hasta el inicio del riego en R1, a comienzos de agosto y coincidiendo con el envero, no fueron todas las precisas para un contraste proporcionado entre las mismas, debido a incidencias meteorológicas. Sin embargo, la medida de Ψ_{7x} reveló diferencias estadísticamente significativas favorables a R2 como respuesta inmediata al inicio de la aplicación de riego, el 26 de junio, lo que no ocurrió con el Ψ_x . Las precipitaciones caídas a continuación, a mediados de julio, unificaron en gran medida ambos potenciales (Ψ_{7x} y Ψ_x).

Hacia finales del mes de julio los valores del Ψ_x sí que discriminaron el tratamiento regado (R2) y el no regado (R1), no sucediendo lo mismo para los valores obtenidos del Ψ_{11} . Sin embargo, la medida Ψ_{7x} realizada justo antes del inicio del riego en R1 discriminó el tratamiento regado de los no regados, situándose R2 en un nivel de estrés hídrico leve, tendencia que se mantuvo en

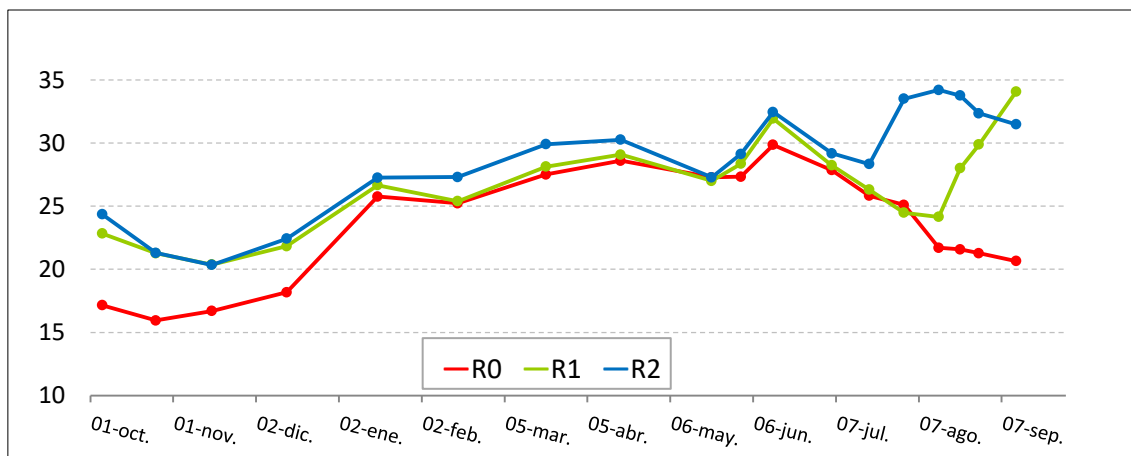
todas las medidas precedentes de los distintos potenciales. En cambio, en esa misma fecha los tratamientos R1 y R0 presentaban un nivel de déficit hídrico moderado, debido a la merma en las reservas hídricas en el perfil del suelo (Gráfica 11).

A partir del inicio del riego en R1 (7 de agosto), coincidiendo con el inicio del envero, todas las medida potencial hídrico mostraron diferencias estadísticamente significativas, discriminando los tratamientos regados (R1 y R2) del no regado (R0), y donde el tratamiento R2 mostró valores menos negativos que el R1 en todas las horas de medida, excepto en la medida final donde los valores de ambos fueron muy similares y el nivel de déficit hídrico análogo.

El alto nivel de sequía registrado en el 2017 (tabla x), probablemente fue la causa del acusado nivel de estrés hídrico mostrado en todos los tratamientos, de forma que en los días previos a la vendimia (30 de agosto), los valores del Ψ_{aa} , Ψ_{7x} y Ψ_x determinaron un nivel de déficit hídrico moderado para los tratamientos regados, y severo en el caso del Ψ_{11} . Así, el riego deficitario (30% de E_{To}) aplicado a los tratamientos R1 y R2 no logró cubrir suficientemente la demanda evapotranspirativa generada por las plantas. Por último, el tratamiento en seco (R0) presentó niveles de estrés hídrico muy severos en las horas del día con temperaturas más elevadas, según los valores registrados de Ψ_{11} .

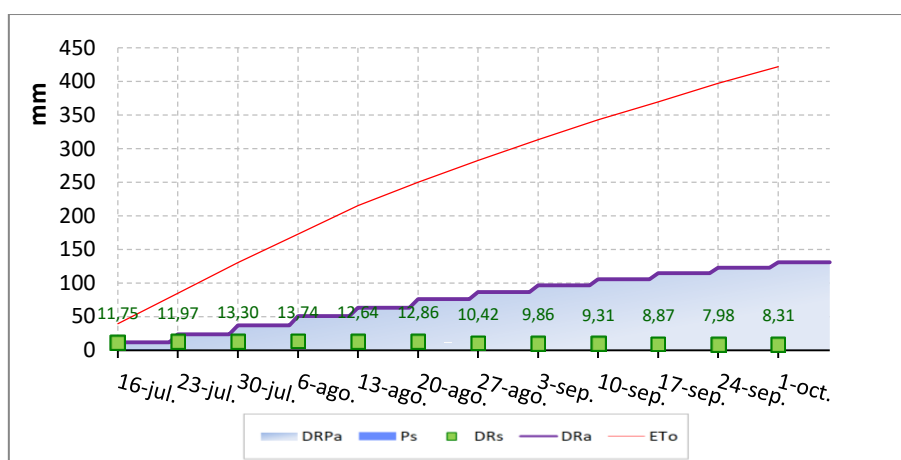
7.3 Evaluación del estado hídrico de las plantas en 2018

La campaña del 2018 registro un valor de precipitación total similar a la campaña del 2016 (Tabla 3). Ésta estuvo marcada por un otoño y gran parte del verano muy seco, concentrándose las precipitaciones entre los meses de enero y julio. Por ello, las cepas dispusieron de reservas suficientes a nivel hídrico en los primeros 60 cm del perfil del suelo, tanto al inicio del ciclo vegetativo como durante el desarrollo vegetativo. La falta de precipitaciones en los dos últimos meses del verano, provocó una reducción importante de las reservas hídricas, solo mitigado por el riego.



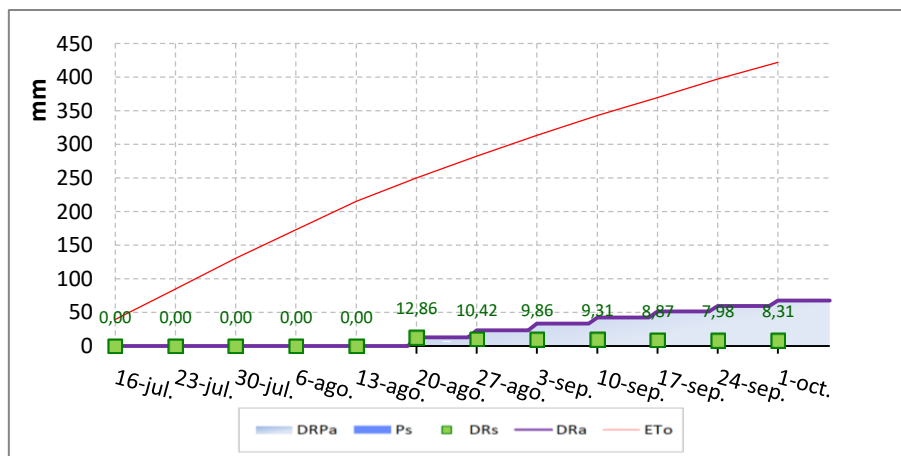
Gráfica 18. Evolución del **contenido de humedad en el suelo (%)**, obtenidos a lo largo del año vitícola **2018** (octubre 2017 - septiembre 2018), en los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El aporte hídrico realizado a través de riego deficitario riego (30% de ETo) se inició el 16 de julio en el tratamiento R2, coincidiendo con el estado fenológico tamaño guisante de la baya, determinado visualmente, continuándose la aplicación del agua de riego hasta completar la fase de maduración del racimo. El riego total aportado durante este periodo fue de 131 mm (Gráfica 14).



Gráfica 19. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenido durante **2018** para **R2**.

En el caso del tratamiento R1, el riego se inició el 20 de agosto coincidiendo con el inicio del envero y continuando hasta el final de la maduración del racimo. El riego total aportado durante este periodo fue de 68 mm (Gráfica 15).



Gráfica 20. Dosis de riego semanal (**DRs**, mm), Dosis de riego acumulada (**DRa**, mm), Precipitación semanal (**Ps**, mm), Dosis de riego semanal y precipitación semanal acumulada (**DRPs**, mm) y Evotranspiración acumulada (**ETo**, mm) obtenido durante **2018** para **R1**.

Las medidas de potencial hídrico (Ψ_{7s} y Ψ_x) se iniciaron el 5 de julio, diez días antes del inicio del riego del tratamiento R2, coincidiendo con un etapa previa a tamaño guisante de la baya. De esta forma, se pudo evaluar en los diferentes tratamientos, la situación hídrica de las cepas antes de iniciar el aporte hídrico en R1 y R2.

Tabla 21. Tabla resumen de **valores medios** del Ψ_{aa} , (MPa), Ψ_{7s} , (MPa), Ψ_{11} , (MPa), Ψ_x , (MPa), en **2018**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2018		5-jul.	19-jul.	1-ago.	8-ago.	22-ago.	29-ago.	12-sep.	4-oct.
Ψ_{aa}	R0							-0,40 <i>b</i>	
	R1							-0,30 <i>ab</i>	
	R2							-0,24 <i>a</i>	
	P-valor Sig.							0,017 **	
Ψ_{7s}	R0	-0,16	-0,34	-0,45	-0,47	-0,55	-0,80 <i>b</i>	-0,63 <i>b</i>	-0,81 <i>b</i>
	R1	-0,16	-0,35	-0,43	-0,50	-0,54	-0,72 <i>ab</i>	-0,48 <i>a</i>	-0,61 <i>a</i>
	R2	-0,18	-0,32	-0,40	-0,44	-0,44	-0,61 <i>a</i>	-0,45 <i>a</i>	-0,54 <i>a</i>
	P-valor Sig.	0,583 ns	0,790 ns	0,225 ns	0,684 ns	0,202 ns	0,048 **	0,012 **	0,003 **
Ψ_{11}	R0		-0,92		-1,16 <i>b</i>		-1,39	-1,54 <i>b</i>	
	R1		-0,90		-1,10 <i>b</i>		-1,33	-1,42 <i>a</i>	
	R2		-0,89		-0,98 <i>a</i>		-1,22	-1,44 <i>a</i>	
	P-valor Sig.		0,937 ns		0,059 *		0,102 ns	0,099 *	
Ψ_x	R0	-0,30	-0,64	-0,74	-0,89	-1,19 <i>b</i>	-1,22	-1,33 <i>b</i>	-1,28 <i>b</i>
	R1	-0,27	-0,60	-0,68	-0,88	-1,09 <i>ab</i>	-1,16	-1,15 <i>a</i>	-1,09 <i>a</i>
	R2	-0,31	-0,56	-0,62	-0,80	-1,02 <i>a</i>	-1,09	-1,08 <i>a</i>	-1,06 <i>a</i>
	P-valor Sig.	0,707 ns	0,402 ns	0,111 ns	0,462 ns	0,079 *	0,161 ns	0,022 **	0,049 **

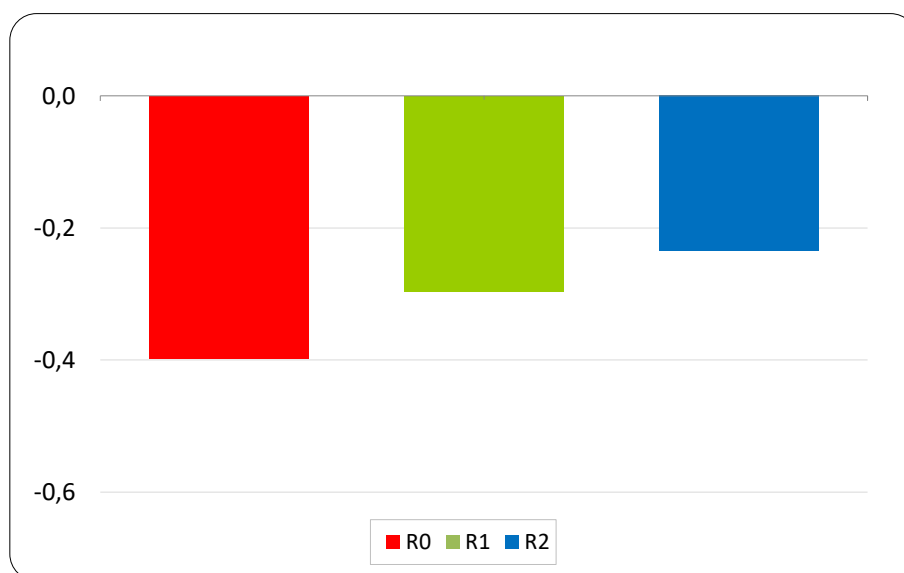
7.3.1 Potencial hídrico antes del amanecer del 2018

El Ψ_{aa} fue medido una sola vez (12 de septiembre) a lo largo del ciclo, quince días antes de la vendimia, coincidiendo con la última etapa de maduración de la baya (Tabla 8).

Tabla 22. **Valor medio** del Ψ_{aa} , (MPa), en **2018**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2018	12-sep.
R0	-0,40 <i>b</i>
R1	-0,30 <i>ab</i>
R2	-0,24 <i>a</i>
P-valor	0,017
Sig.	**

La medida de Ψ_{aa} realizada en esa fecha mostró el valor de potencial más alto en el tratamiento R2, presentando un nivel de estrés hídrico leve, mientras que en el caso del secano (R0), el nivel de estrés hídrico fue levemente moderado, con un Ψ_{aa} de -0,4 MPa. El tratamiento R1 se situó en una posición de potencial intermedia.



Gráfica 21. Evolución del Ψ_{aa} (MPa) en **2018**, de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El Ψ_{aa} mostró diferencias estadísticamente significativas, segregando el tratamiento R2, del secano (R0).

7.3.2 Potencial hídrico foliar a las 7 hs medido a la sombra del 2018

El Ψ_{7s} fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo, comenzando las medidas días antes del estado de tamaño guisante de la baya y continuándolas hasta una semana después de la vendimia.

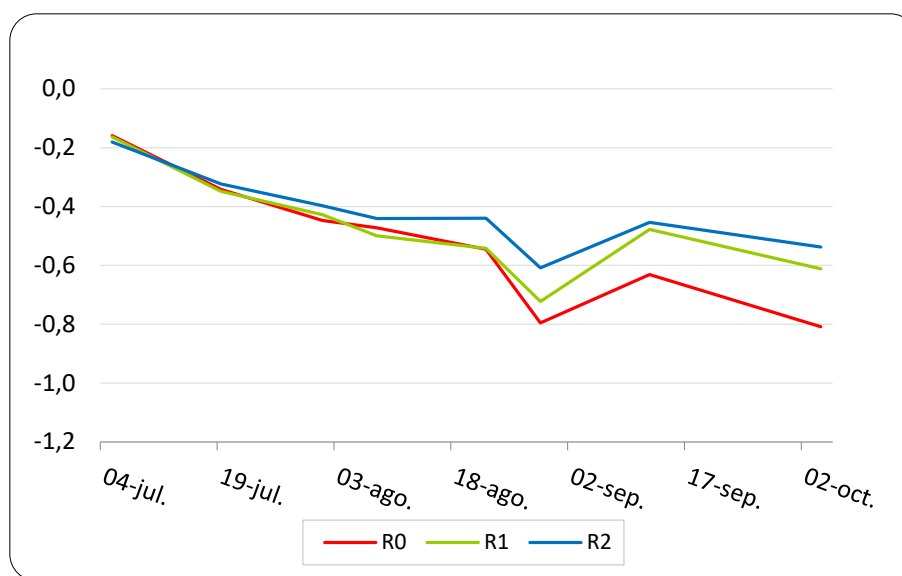
Tabla 23. **Valor medio** del Ψ_{7s} , (MPa), en **2018**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2018	5-jul.	19-jul.	1-ago.	8-ago.	22-ago.	29-ago.	12-sep.	4-oct.
R0	-0,16	-0,34	-0,45	-0,47	-0,55	-0,80 <i>b</i>	-0,63 <i>b</i>	-0,81 <i>b</i>
R1	-0,16	-0,35	-0,43	-0,50	-0,54	-0,72 <i>ab</i>	-0,48 <i>a</i>	-0,61 <i>a</i>
R2	-0,18	-0,32	-0,40	-0,44	-0,44	-0,61 <i>a</i>	-0,45 <i>a</i>	-0,54 <i>a</i>
P-valor	0,583	0,790	0,225	0,684	0,202	0,048	0,012	0,003
Sig.	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**

En el periodo comprendido entre la primera fecha de medida, 5 de julio, y la medida del 8 de agosto, el Ψ_{7s} presentó una tendencia hídrica ligeramente decreciente muy similar en los tres tratamientos, aunque mostrando hacia el final de este periodo, un potencial levemente más favorable en el caso del tratamiento R2. En este espacio de tiempo y a pesar de estar en plena estación estival, los tratamientos mostraron signos leves o ausencia de déficit hídrico, seguramente debido a las precipitaciones caídas de forma regular a lo largo de la primavera y el mes de julio. En la siguiente medida del 22 de agosto, el tratamiento R2 se mantiene sin cambios en su Ψ_{7s} , mientras que los otros dos tratamientos continúan la misma evolución ligeramente decreciente, a pesar de haber iniciado el riego días antes de la medida en el caso del R1.

En la medida del 29 de agosto, los valores de Ψ_{7s} del tratamiento R1 comienzan a responder positivamente al aporte hídrico, situándose en valores de potencial intermedios entre el tratamiento R2 y el R0. Sin embargo, el Ψ_{7s} en los tres tratamientos evoluciona de forma decreciente, situándose todos ellos en general en un nivel de estado hídrico bastante favorable para la época del año, siendo leve (-0,61 MPa) en el caso de R2 y, algo más acusado en el R1 (-0,72 MPa) y el seco (-0,80 MPa), con un nivel de estrés hídrico levemente moderado y moderado, respectivamente.

La medida de Ψ_{7s} efectuada días antes de la vendimia, registró valores más positivos de potencial en los tres tratamientos que la medida anterior, situándose el tratamiento R1 en un valor de Ψ_{7s} muy similar al valor de R2. De esta forma, los tratamientos regados prácticamente no mostraron déficit hídrico y el tratamiento no regado (R0) evolucionó a una situación leve de estrés hídrico. En la última medida realizada tras la vendimia, los Ψ_{7s} en los tratamientos regados, R1 y R2, fueron ligeramente inferiores a la anterior fecha de medida, siendo el potencial algo más negativo en el caso de R1. En esta medida, el tratamiento R0 también mostró un valor más negativo de Ψ_{7s} , -0,81 MPa, situándose al final del ciclo con un moderado déficit hídrico.



Gráfica 22. Evolución del Ψ_{7s} (MPa) en 2018, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

Probablemente debido a causas de carácter meteorológico, solo se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas de Ψ_{7s} en las últimas tres medidas realizadas. En la primera de ellas, el análisis estadístico discriminó el tratamiento más regado, R2, del tratamiento de secano, mientras que en las dos siguientes medidas de potencial, el análisis efectuado discriminó entre los tratamientos regados (R1 y R2) y el no regado (R0).

7.3.3 Potencial hídrico foliar a las 11 hs del 2018

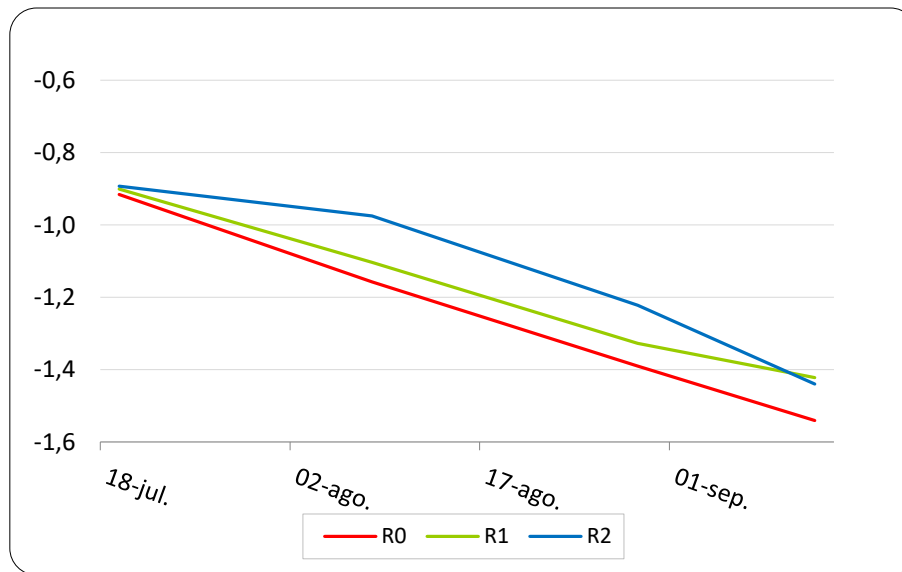
El Ψ_{11} fue medido con periodicidad quincenal o mensual a lo largo del ciclo, comenzando las medidas días antes del estado de compactación del racimo y finalizándolas dos semanas antes de la vendimia.

Tabla 24. **Valor medio** del Ψ_{11} , (MPa), en **2018**, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p-valor<0,1 (*); <0,05 (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2018	19-jul.	8-ago.	29-ago.	12-sep.
R0	-0,92	-1,16 <i>b</i>	-1,39	-1,54 <i>b</i>
R1	-0,90	-1,10 <i>b</i>	-1,33	-1,42 <i>a</i>
R2	-0,89	-0,98 <i>a</i>	-1,22	-1,44 <i>a</i>
P-valor	0,937	0,059	0,102	0,099
Sig.	ns	*	ns	*

La medida inicial de Ψ_{11} del 19 de julio, determinó un estado hídrico similar en tres tratamientos de régimen hídrico, siendo éste de carácter muy leve. En el periodo de medidas comprendido desde esta fecha hasta el 29 de agosto, la tendencia del Ψ_{11} fue decreciente en los tres tratamientos, aunque mostrando un nivel de potencial más favorable en el caso del tratamiento R2. Los tratamientos R1 y R0, siguieron una evolución prácticamente paralela entre sí, mostrando el tratamiento R1 valores de Ψ_{11} ligeramente más positivos que el tratamiento en secano (R0). Al final de este periodo de medidas (29 de agosto), el estado hídrico en los tratamientos R2, R1 y R0, fue de carácter levemente moderado, moderado y ligeramente severo, respectivamente.

Hasta la última medida de Ψ_{11} realizada el 12 de septiembre, los tratamientos R2 y R0 continuaron la anterior tendencia decreciente. Sin embargo, en el tratamiento R1 aunque con evolución de Ψ_{11} también decreciente, fue más moderada, obteniendo un valor de potencial en esta fecha similar al de R2 y, presentando un nivel de estrés hídrico severo en ambos casos y, muy severo en el caso del tratamiento R0.



Gráfica 23. Evolución del Ψ_{11} (MPa) en 2018, de los tratamientos **R0** (rojo), **R1** (verde) y **R2** (azul).

El tratamiento estadístico únicamente mostró diferencias significativas a un nivel de significación $P < 0,1$, en dos fechas del periodo de medidas, el 8 de agosto, segregando el tratamiento regado en ese momento R2, de los no regados (R1 y R0), y el 12 de septiembre, discriminando los tratamientos regados (R2 y R1) del seco (R0).

7.3.4 Potencial hídrico de xilema medido a las 12 hs del 2018

El Ψ_x fue medido con periodicidad semanal o quincenal a lo largo del ciclo, comenzando las medidas en fase de cuajado de la baya y continuándolas hasta dos semanas después de vendimia.

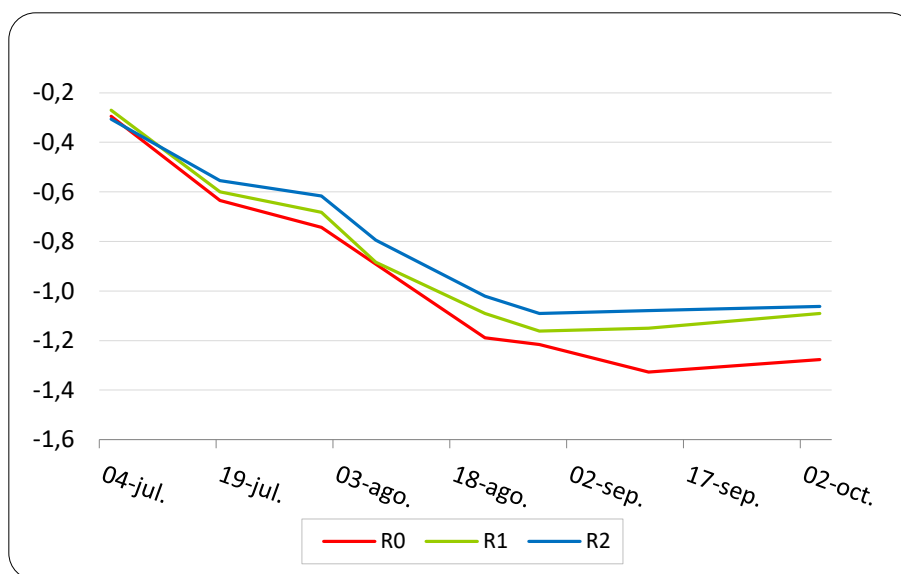
Tabla 25. **Valor medio** del Ψ_x , (MPa), en 2018, de los tratamientos **R0**, **R1** y **R2**. Niveles de significación: no significativo (n.s.); p -valor $< 0,1$ (*); $< 0,05$ (**). Letras distintas indican grupos con diferencias estadísticamente significativas.

2018	5-jul.	19-jul.	1-ago.	8-ago.	22-ago.	29-ago.	12-sep.	4-oct.			
R0	-0,30	-0,64	-0,74	-0,89	-1,19	<i>b</i>	-1,22	-1,33	<i>b</i>	-1,28	<i>b</i>
R1	-0,27	-0,60	-0,68	-0,88	-1,09	<i>ab</i>	-1,16	-1,15	<i>a</i>	-1,09	<i>a</i>
R2	-0,31	-0,56	-0,62	-0,80	-1,02	<i>a</i>	-1,09	-1,08	<i>a</i>	-1,06	<i>a</i>
P-valor	0,707	0,402	0,111	0,462	0,079		0,161	0,022		0,049	
Sig.	ns	ns	ns	ns	*		ns	**		**	

En el periodo comprendido entre el inicio de las medidas, 5 de julio y la medida del 29 de agosto, los tres tratamientos de régimen hídrico mantienen una tendencia decreciente similar en sus valores de Ψ_x . La primera medida (5 de

julio), muestra una situación inicial de ausencia de déficit hídrico, con un valor de potencial semejante en los tres tratamientos. A partir de esta fecha y hasta el final de este periodo de medidas, el tratamiento R2 se va a situar en una posición más favorable a nivel hídrico que en el caso del tratamiento R0, presentando un nivel de estrés hídrico levemente moderado y moderado, respectivamente, al final de este periodo. El Ψ_x de tratamiento R1, se mantendrá a lo largo de estas medidas, en una posición intermedia, excepto en la medida del 8 de agosto, en la que el valor de su Ψ_x coincidirá con el valor del R0.

En el siguiente periodo de medidas, entre el 29 de agosto y la medida final del 4 de octubre, los tratamientos regados (R1 y R2) mantendrán el valor de Ψ_x prácticamente constante y equidistante entre ellos, excepto en la última fecha en la que el R1 y R2 muestran un valor muy similar, con un déficit hídrico levemente moderado, en ambos tratamientos. El Ψ_x en el tratamiento R0 al final del periodo de medidas, decrece hasta un valor de potencial de -1,28 MPa, presentando un déficit hídrico moderadamente severo.



Gráfica 24. Evolución del Ψ_x (MPa) en 2018, de los tratamientos R0 (rojo), R1 (verde) y R2 (azul).

El análisis estadístico de los valores Ψ_x obtenidos en las diversas fechas de medida, muestra diferencias significativas a un nivel de significación $P < 0,1$ entre tratamientos, en la fecha del 22 de agosto, discriminando el tratamiento R2 del tratamiento R0. También, se obtuvieron diferencias estadísticamente

significativas en las dos últimas fechas de medida de Ψ_x , segregando los tratamientos regados (R1 y R2) del tratamiento de secano (R0).

7.3.5 Potencial hídrico del 2018

Los distintos tipos de medidas de potencial hídrico realizadas hasta el inicio del invierno en 2018, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento regado a partir del 16 de julio (R2) y los no regados (R0 y R1), excepto en la medida de Ψ_{11} , en la primera quincena del mes de agosto (tabla x), que segregó dichos tratamientos a un nivel de significación $P < 0,1$. A pesar de ello, y a medida que avanzó el verano, se observó cierta tendencia del tratamiento R2 a presentar valores algo menos negativos que los otros dos tratamientos (R1 y R0), mostrando R2 en todas las medidas de potencial un nivel de déficit hídrico leve. Sin embargo, al final de este periodo, los tratamientos no regados acusaron cierto estrés hídrico aunque de carácter levemente moderado según las medidas de Ψ_{11} y Ψ_x . Las precipitaciones caídas desde enero hasta julio (Tabla 3), mantuvieron las cepas de los tres tratamientos a todas las horas de medida en un nivel de estrés hídrico leve, solo acentuándose a comienzos del mes de agosto, tras el final de las lluvias.

A partir del inicio de la aplicación de riego en el tratamiento R1 el 20 de agosto, y hasta final de dicho mes, únicamente se obtuvieron diferencias significativas en los valores del Ψ_{7s} que segregaron el tratamiento con más horas de riego (R2) del seco (R0), y también para los valores del Ψ_x , aunque este último a un nivel de significación $P < 0,1$. En general, el tratamiento R1 mostró resultados algo mas negativos que el R2 a lo largo de este periodo. Esto se pudo deber a que las cepas presentaron un mejor estado hídrico debido a las precipitaciones caídas en los meses precedentes (Gráfica 3). De esta forma, para esta época del año, según los valores registrados de Ψ_{7s} los tratamientos regados presentaban un nivel de estrés hídrico leve (R2) y levemente moderado (R1), siendo en el caso del tratamiento en seco (R0) moderado. Estos niveles de déficit hídrico para los valores de Ψ_{11} y Ψ_x fueron ligeramente más acusados.

A partir de la segunda semana de septiembre y hasta la última medida en octubre, la falta de precipitaciones acentuó la diferencia entre los tratamientos regados (R1 y R2) y el no regado (R0), siendo esta diferencia estadísticamente significativa para todas las medidas de potencial, segregando de esta forma a ambos grupos. El grado de estrés hídrico de las cepas se mantuvo en un nivel leve en los tratamientos regados, aunque con valores de potencial algo más negativos en el Ψ_{7s} , acentuándose a un nivel moderado en el caso del seco (R0). Por otro lado, la medida del Ψ_x presentó una tendencia similar que el Ψ_{7s} , aunque con un nivel superior de déficit hídrico en cada tratamiento. Sin embargo, antes de la vendimia (26 de septiembre), los valores del Ψ_{11} donde la temperatura ambiental es más elevada, los tratamientos de riego (R1 y R2) ya manifestaban un nivel de estrés moderadamente severo y el seco (R0) un nivel severo. Este empeoramiento generalizado del estado hídrico de las cepas en los diferentes tratamientos, se debió fundamentalmente a la incapacidad de las plantas para cubrir su necesidad evapotranspirativa exclusivamente con el agua de riego, ya que no hubo aporte de agua por precipitaciones en este periodo (Tabla 3).

8 CONCLUSIONES

A lo largo de **la primera fase de riego** deficitario, iniciada en el tratamiento R2 en el estado fenológico tamaño guisante de la baya y continuando hasta el envero, las diferentes medidas de potencial hídrico en los tres tratamientos mostraron, en general, valores significativamente menos negativos en el R2 (regado), que en R0 y R1 (no regados). Así mismo, se observó un cierto retraso en la respuesta hídrica de las cepas respecto al inicio del riego en R2, en función de las particularidades meteorológicas de cada año y hora de medida.

En el caso de la medida Ψ_x a lo largo de las tres campañas, los valores mostraron un ligero retraso en la apreciación de las diferencias significativas favorables a R2.

El nivel de déficit hídrico mostrado por el tratamiento regado (R2), en los tres años de medida y en el momento de compactación de racimo, antes del inicio del riego en R1, fue de carácter leve según los valores registrados de Ψ_{7s} . Por contra, según esta medida de potencial, los tratamientos no regados (R1 y R2)

mostraron un nivel de estrés hídrico significativamente superior, de carácter moderado, excepto en el año 2018, en que se situaron en un déficit hídrico leve, probablemente debido a las precipitaciones registradas en este periodo. Los niveles de déficit hídrico obtenidos a través del Ψ_{11} también permitieron discriminar el tratamiento regado de los tratamientos no regados incluso en 2018, situándose en un nivel similar de estrés hídrico de los obtenidos con el Ψ_{7s} . En cambio, según los valores de Ψ_x , los niveles de déficit hídrico se mantuvieron dentro de un rango similar entre ellos, no respondiendo de forma tan clara al régimen hídrico aportado.

En la **segunda fase de riego**, a partir del inicio de la aplicación de riego en el tratamiento R1, al comienzo del envero, las diversas medidas de potencial hídrico mostraron diferencias significativas favorables a los tratamientos regados (R2 y R1) respecto del seco (R0). En los tratamientos regados, en general, los valores de las diferentes medidas de potencial en el tratamiento R2 fueron menos negativos que en el R1. Sin embargo, las medidas obtenidas en los tratamientos R1 y R2 de los diferentes tipos de potencial hacia final del ciclo del año 2017 tendieron a situarse en valores muy próximos entre sí, resultando incluso superiores, en el tratamiento R1. Esta situación también se observó en el 2018 en las medidas de Ψ_{11} y Ψ_x , coincidiendo con las horas más calurosas del día.

Los niveles de déficit hídrico de R0, R1 y R2 obtenidos a través de las diferentes medidas de potencial en la fase final del ciclo mostraron claras diferencias en el estado hídrico de las cepas entre los tratamientos regados (R1 y R2) y el tratamiento de seco (R0). Sin embargo, los valores de potencial hídrico obtenido a través del Ψ_{7s} en los tratamientos regados, en los momentos iniciales del día, mostraron en general un nivel leve de estrés hídrico. En cambio, el tratamiento en seco presentó un nivel de déficit hídrico entre moderadamente severo y severo, salvo en el año 2018, seguramente por las precipitaciones caídas que aproximaron el estado hídrico entre tratamientos en dicha medida de potencial. Por contra, a través de Ψ_{11} y Ψ_x , medidos en las horas del día con temperaturas más elevadas, quedó reflejada una situación hídrica en general más desfavorable, situándose los tratamientos regados en un nivel de estrés hídrico de moderado a severamente moderado,

en el caso del Ψ_{11} , y algo menos desfavorables en el caso del Ψ_x , observándose un nivel hídrico ligeramente más favorable en R2 que en R1. Sin embargo, el tratamiento en secano continuó presentando, según estas medidas de potencial, un nivel de estrés hídrico entre moderadamente severo y severo.

La medida de potencial hídrico a las 7 hs en hoja a la sombra resultó ligeramente más sensible a la variación del régimen hídrico, además de resultar más cómoda su ejecución, que a las 9 y las 12 hs al sol y que, en particular, la de xilema, a las 12 hs, la cual exige además el embolsado previo de la hoja de medida. Por tanto, la medida de potencial hídrico a las 7 hs a la sombra resulta interesante como indicador del estado hídrico del viñedo.

Años lluviosos permiten más disponibilidad hídrica, y los resultados interanuales parecen indicar, particularmente a partir del invierno, el importante papel que juegan las raíces situadas en profundidades del perfil por debajo de los 60 cm. Los resultados ponen de manifiesto que con el riego deficitario de 30% de ETo aportado previamente al invierno en el tratamiento R2 o posteriormente al R1, en aquellos años de fuerte sequía, las plantas solo llegan a cubrir una reducida demanda evapotranspirativa, particularmente en las horas más calurosas del día, probablemente debido a la falta de reservas hídricas en los horizontes más profundos, de los cuales la planta no puede disponer fácilmente.

Sin embargo, los años en que las precipitaciones efectivas sean suficientes y se repartan a lo largo de la época primaveral e inicio del verano, como en el año 2018, el riego de pre-invierno no parece ser tan necesario, ya que ninguno de los tipos de medida de potencial a lo largo de todo el periodo en que sólo se regó el tratamiento R2 mostró diferencias significativas entre tratamientos, presentando todos ellos un nivel leve de déficit hídrico.

En definitiva, la aplicación de un régimen hídrico deficitario debe plantearse en función del régimen de precipitaciones, particularmente efectivas, para decidir el retraso del riego en la medida adecuada. Desde el punto de vista de necesidad hídrica del viñedo, podría resultar adecuado plantear el incremento de la aportación (% ETo) acorde con el año meteorológico y la fecha de la fase del ciclo vegetativo.

9 BIBLIOGRAFÍA

Bota, J., Flexas, J., Medrano, H., 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Ann. Appl. Biol.* 138, 353-361.

Cancela, J.J., Montoro, A., Torija, I., Uriarte, D., García-Escudero, E., Rivacoba, L., López, D., Fandiño, M., Prieto, M.H., Valdés, E., Vilanova, M., Martínez-Porro, D., Yuste, J. 2019. Riego post-floración en variedades blancas de vid: incidencia en la producción. *Agricultura* 1028 (mayo): 46-50.

Cancela, J.J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E.M., Rey, B.J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M. Mirás-Avalos, J.M., 2016. Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. *Agric. Water Manage.*, 170, 99-109.

Casassa, L.F.; Keller, M., Harbertson, J.F. 2015. Regulated Deficit Irrigation Alters Anthocyanins, Tannins and Sensory Properties of Cabernet Sauvignon Grapes and Wines. *Molecules Journal*, 20, 7820-7844.

Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce change expression regulating flavonoid biosynthesis in grape. *Planta* 227: 101-112.

Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. 2007a. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227 101-112.

Castellarin, S.D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., Di Gaspero, G. 2007b. Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell Environ.* 30: 1381-1399.

Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105, 661-676.

Choné, X., van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudillere, J.P., 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87, 477-483.

Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency? *Agric. Ecosyst. Environ.* 106, 159-170.

Collins, M.J., Fuentes, S. Barlow, E.W.R. 2010. Partial root-zone drying and deficit irrigation increase stomatal sensitivity to vapour pressure deficit in anisohydric grapevines. *Funct. Plant Biol.* 37:128-138.

Coombe, B.G., McCarthy, M., 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 131-135.

de Luc, L.G., Quilici, D.R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M.D., Schlauch, K. A., Mérillon, J.M., Cushman, J.C., Cramer, G.R. 2009. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics* 10 (212): 1-33.

Domec, J.C., Johnson, D.M., 2012. Does homeostasis or disturbance of homeostasis in minimum leaf water potential explain the isohydric versus anisohydric behavior of *Vitis vinifera* L. cultivars? *Tree Physiol.* 32, 245-248.

Fereres, E., Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Volume 58, Issue 2, January 2007, Pages 147-159.

Ferreira, R., Selles, G., Peralta, J., Valenzuela, J. 2002. Efectos de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet Sauvignon sobre producción y calidad del vino. *Agricultura Técnica*, 62(3).

Flexas, J., Bota, J., Escalona, J.M., Sampol, B., Medrano, H. 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 29(4):461-471.

Flexas, J., Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited. *Annals of Botany*, 89 (2): 83-189.

Gurovich, L., C. Páez. 2004. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. *Ciencia e Investigación Agraria*. 31: 175-186.

Hardie, W., Considine, J., 1976. Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Vitic.* 27, 55-61.

Hardie, W.J., Martin, S.R. 1990. A strategy for vine growth regulation by soil water management. Seventh Australian Wine Industry Technical Conference Adelaide, SA Australian Wine Industry Technical Conference IncAdelaide SA, Australia.

Jones, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 55, 2427-2436.

Keller, M., 2005. Deficit irrigation and vine mineral nutrition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 267-283.

Kennedy, M.A. 2008. Grape and wine phenolics: Observations and recent findings. *Cien. Inv. Agr.* 35: 77-90.

Lorenzo, A. 1978. La "tribu" de los viñedos Verdejos. *El Norte de Castilla*, suplemento *El Campo*, 10/IX/1978. Valladolid (España).

Martínez, A. 1991. El monasterio cisterciense en el origen de los vinos españoles. Servicio de Extensión Agraria; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Madrid (España). 177 pp.

Martínez, E.M., Rey, B.J., Fandiño, M., Cancela, J.J. 2016. Impact of water stress and nutrition on *Vitis vinifera* cv. 'Albariño'. Soil-plant water relationships, cumulative effects and productivity. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1), 1202.

McCarthy, M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* 3, 2-8.

McCutchan, H., K.A. Shackel. 1992. SWP as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117:607-611.

Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., et al. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: limitations of leaf WUE as a selection target. *Crop Journal*. 3, 220-228.

Montoro, A., Fereres, E., López-Urrea, R., Mañas, F., López-Fuster, P. 2012. Sensitivity of trunk diameter fluctuations in *Vitis vinifera* L. Tempranillo and Cabernet Sauvignon cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.* 63 (1): 85-93.

Mullins, M.G. Bouquet, A Williams L.E. 1992. *Biology of the grapevine*. Cambridge University Press.

Munitz, S., Netzer, Y., Schwartz, A. 2017. Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Aus. J. Grape Wine Res.* 23 87-94.

Munitz, S., Netzer, Y., Schwartz, A. 2017. Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Aus. J. Grape Wine Res.* 23 87-94.

Nadal, M., Arola, L. 1995. Effects of limited irrigation on the composition of must and wine of Cabernet Sauvignon under semi-arid conditions. *Vitis* 34(3): 151-154.

Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A. y A. Deloire. 2002. Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* 53:(4) 261-267.

Ojeda, H., Deloire A., Carbonneau, A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis* 40(3): 141-145.

Páez, C. 2002. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la calidad de los vinos. Tesis de Magister Ing. Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile. pp 35.

Pereira-Netto, A.B. 2002. Crescimento e desenvolvimento. In: wachowicz, C. M.; Carvalho, R. I. N. (Eds.). Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat.

Richter, H., 1997. Water relations of plants in the field: some comments on the measurement of selected parameters. J. Exp. Bot. 48: 1-7.

Rogiers, S.Y., Greer, D.H., Hatfield, J.M., Hutton, R.J., Clarke, S.J., Hutchinson, P.A., Somers, A., 2012. Stomatal response of an anisohydric grapevine cultivar to evaporative demand, available soil moisture and abscisic acid. Tree Physiology. 32: 249-261.

Romero, P., Fernández, J.I., Martínez, A. 2010. Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. American Journal of Enology and Viticulture. 61, 300-312.

Rubio, J.A., et al. 2003. Identificación de variedades autóctonas de Castilla y León. Vida Rural 166: 36-42.

Rubio, J.A., Yuste, J., et al. 2009. Clones certificados de las principales variedades tradicionales de vid en Castilla y León. Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León; Junta de Castilla y León.

Scholander, P.F., Hammel, H., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E., 1965. Sap pressure in vascular plants.

Schultz, H.R., 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. Plant Cell Environ. 26, 1393-1405.

Shellie, K.C. 2014. Water productivity, yield, and berry composition in sustained versus regulated deficit irrigation of Merlot grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 65, 197-205.

Shellie, K.C. 2014. Water productivity, yield, and berry composition in sustained versus regulated deficit irrigation of Merlot grapevines. Am. J. Enol. Vitic. 65, 197-205.

Tomás, M., Medrano, H., Pou, A., Escalona, J., Martorell, S., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., 2012. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of water stress at the leaf and whole-plant level. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18, 164-172.

Tomás, M., Medrano, H., Pou, A., Escalona, J.M., Martorell, S., Ribas-Cardo, M., Flexas, J. 2012. Water-use efficiency in grapevine cultivars grown under controlled conditions: effects of wáter stress at the leaf and whole-plant level. *Aus. J. Grape Wine Res.* 18: 164-172.

Tramontini, S., Döring, J., Vitali, M., Ferrandino, A., Stoll, M., Lovisolo, C. 2014. Soil water-holding capacity mediates hydraulic and hormonal signals of near-isohydric and near-anisohydric *Vitis* cultivars in potted grapevines. *Functional Plant Biology* 41(11) 1119-1128.

van Leeuwen, C., Seguin, G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion 1990). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 28 (2), 81-110.

van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère J.-P. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 43, 121-134.

Yuste, J., Vicente, A., Barajas, E. 2013. Agronomic, physiological and qualitative response of white variety verdejo to irrigation and its management in the AO Rueda. *Ciencia e Técnica Vitivinícola*, 28, 84-88.

Yuste, J., Martínez, D., Yuste, R. 2015. Respuesta de la variedad Verdejo ante tres tipos de poda. *La Semana vitícola*. ISSN 0037-184X. 3438, 6-14.